



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

FACOLTA' DI MEDICINA E ODONTOIATRIA

Dipartimento di Neuroscienze Umane

Master di I livello in POSTUROLOGIA

Direttore: Prof. F. Fattapposta

**“The impact of the use of Froggymouth
on the short term sport performance”**

Relatore

Dott. Pietro Malfatto

Correlatore

Dott. Ciaccia Domenico Elio

Candidati

Angelo Campo

Davide D'alterio

Chiara Ferraro

Mauro Antonio Magliulo

Giuseppe Marchese

Alessandro Miralli

Francesco Ursumando

a.a. 2022/2023

Indice

<i>Introduzione</i>	3
Linee guida italiane sul rapporto tra occlusione dentale e postura	4
Abstract	8
<i>Capitolo 1 – Cenni anatomici: fisiologia, neurofisiologia e biomeccanica</i>	10
1.1 Apparato stomatognatico.....	10
1.2 Lingua e deglutizione	16
1.3 Arto inferiore e modello di Koch.....	29
1.4 Le catene miofasciali	45
1.5 Apprendimento e memoria	51
<i>Capitolo 2 – Le capacità motorie</i>	55
2.1 La mobilità	55
2.2 La forza	56
2.3 L’equilibrio	67
2.4 L’interferenza della deglutizione su mobilità, equilibrio e forza esplosiva	71
2.5 Prestazione sportiva: il Futsal	76
<i>Capitolo 3 – Esperienza sperimentale</i>	80
3.1 Materiali e metodi.....	80
3.1.1 Partecipanti	80
3.1.2 Strumentazione.....	81
3.1.3 Test di valutazione	83
3.1.4 Procedura	88
3.2 Analisi.....	89
3.3 Risultati	90
3.4 Discussione e conclusioni	93
<i>Appendici</i>	99
<i>Bibliografia</i>	103

Introduzione

I rapporti e le interazioni tra apparato stomatognatico e postura hanno suscitato molto interesse in relazione allo studio della performance e della prevenzione in ambito sportivo. Nel corso degli anni è stato ampiamente dimostrato che fattori come la respirazione, la posizione della testa e del collo, gli stati d'animo (soprattutto l'ansia), possano incidere sulla postura (Wada, Sunaga, & Nagai, 2001).

Nonostante l'assenza di prove scientifiche certe a supporto di una corrispondenza tra articolazione temporo-mandibolare e postura, sussistono correlazioni tra fattori occlusali e alterazioni posturali (Fujimoto, Hayakawa, Hirano, & Watanabe, 2001; Róžańska-Perlińska, Jaszczur-Nowicki, Kruczkowski, & Bukowska, 2023).

Malgrado persistano evidenze di correlazioni tra occlusione e postura cranio cervicale, tali rapporti acquisiscono rilevanza sempre minore spostandosi in direzione cranio caudale, senza assumere, in ogni caso, la valenza di causa-effetto. Pertanto, dall'analisi della letteratura scientifica pare corretto affermare che non sono giustificate eventuali terapie occlusali, specialmente se irreversibili e dispendiose, indirizzate al trattamento di squilibri posturali (Michelotti, Buonocore, Manzo, Pellegrino, & Farella, 2011).

Studi recenti evidenziano il ruolo delle afferenze trigeminali sulla postura, suggerendo che la tensione dell'apparato stomatognatico può contribuire ad alterare il controllo neurale della postura, ciò non è stato pienamente dimostrato poiché è opportuno ricordare che il sistema tonico-posturale non segue le leggi di un sistema lineare; dunque, non può esistere un principio di causa-effetto se si parla di postura (Cuccia & Caradonna, 2009).

Esaurite queste doverose premesse, scopo di questo studio è di ricercare evidenze di una correlazione tra deglutizione e performance sportiva. In particolare, l'obiettivo è quello di evidenziare gli effetti dell'utilizzo per un mese, del dispositivo *Froggy-mouth* su una popolazione di soggetti impegnati nella disciplina del calcio a 5 che presentano deglutizione disfunzionale/atipica.

Linee guida italiane sul rapporto tra occlusione dentale e postura

Nel 2017 il gruppo di studio Italiano Dolore Orofaciale e Disordini Temporomandibolari (GSID) si propone l'obiettivo di diffondere le linee guida in ambito di occlusione e postura (Manfredini & Perinetti, 2017).

Criterio 1

“Tutti i distretti muscolo scheletrici del corpo umano interagiscono tra loro – il cranio non è <<slegato>>”

L'adattamento della postura eretta umana si è realizzato, evolutivamente, appartenenza dal livello craniale (vista, occlusione, ossa mascellari e apparato vestibolare), in senso discendente verso il rachide cervicale, dorsale e lombosacrale e degli arti inferiori; a livello del cranio sono presenti la gran parte delle strutture anatomiche che regolano la postura e per questo non può essere “slegato” per tutte le analisi e test posturali.

Criterio 2

“La postura del cranio e dello scheletro sono inevitabilmente <<correlate>>, ma ogni possibile correlazione tra caratteristiche scheletriche e TMD si perde già a livello della colonna cervicale” (Armijo-Olivo, et al., 2011).

Sebbene esistano alcune evidenze di correlazione tra occlusione e postura, questa appare limitata al tratto cranio-cervicale della colonna e tende a scomparire scendendo in direzione cranio-caudale. Sulla base di questa revisione della letteratura, non è consigliabile trattare lo squilibrio posturale mediante trattamenti oclusali o viceversa, soprattutto se le modalità terapeutiche sono irreversibili. È stato determinato se i pazienti con disturbi temporo-mandibolari (TMD) miogeni o misti (cioè, miogene più artrogeni) avessero una postura diversa della testa e del collo misurata attraverso angoli comunemente usati in contesti di ricerca clinica rispetto a individui sani. L'unica differenza statisticamente significativa nella postura craniocervicale tra pazienti con TMD miogeno e soggetti sani riguardava l'angolo occhio-trago-orizzontale, che indica una posizione più estesa della testa.

Tuttavia, la differenza, essendo molto piccola è stata giudicata non clinicamente significativa.

Criterio 3

“La postura corporea è un parametro dinamico e variabile a livello intra-ed inter-individuale – alcuni parametri oscillano di più del 1000%...non può essere un esame in grado di discriminare tra miglioramenti e modifiche casuali/naturali” (Perinetti, Marsi, Castaldo, & Contardo, 2012).

Con questo criterio si valuta la ripetibilità di diversi parametri posturografici statici con riguardo all'analisi delle correlazioni tra sistema masticatorio e postura corporea. In 15 soggetti sani senza malocclusione si è registrata che solo l'area di oscillazione e la velocità hanno prodotto errori accettabili. I parametri spaziali, ovvero lo spostamento del centro di pressione dal punto teorico, hanno ottenuto risultati mediocri con errori minimi. Nella metanalisi sono stati inclusi dieci studi e sono stati calcolati un totale di 281 punteggi di variazione, con la maggior parte delle variazioni maggiori e significative osservate per i parametri spaziali. L'area di oscillazione e la velocità mostrano un'affidabilità accettabile, ma una soglia del 25% dovrebbe essere utilizzata come variazione reale tra due diverse condizioni di registrazione, ovvero RP vs. ICP. Considerando che la maggior parte dei risultati precedenti sulle correlazioni rilevanti tra il sistema masticatorio e la postura del corpo si basano su parametri spaziali, con la più scarsa ripetibilità, le conclusioni corrispondenti dovrebbero essere interpretate con cautela.

Criterio 4

“La postura corporea è determinata ed influenzata da molteplici variabili, tra le quali la tensione muscolare ed il dolore. Non è forse plausibile che «alterazioni» posturali siano causate dalla presenza di dolore, che determina adattamenti neuromuscolari protettivi? Il modello di adattamento al dolore e le sue integrazioni dovrebbero insegnare qualcosa...” (Murray & Peck, 2007).

Tensione muscolare e dolore possono essere tra le cause dell'alterazione della postura corporea. Prove conclamate dimostrano che il dolore porti ad una maggiore attivazione muscolare con delle soluzioni che limitino il movimento in modo da

poter proteggere il sistema sensomotorio da ulteriori lesioni. Ulteriori studi, invece, affermano una “mancata coerenza” con quanto detto prima, in quanto dietro al complesso sistema sensomotorio ci sia la natura multidimensionale del dolore. Esso è costituito da componenti sensoriale-discriminative, cognitivo-valutative e motivazionale – affettive a cui sono legati fattori come l’intensità e la localizzazione e altre influenze soprasspinali che governano gli effetti del dolore sull’attività motoria. Il modello attuale di adattamento del dolore è considerato un modello integrato perché fa parte di un sottoinsieme di modelli di adattamento ed afferma che il dolore può essere paragonato ad un’emozione omeostatica e ciò si traduce in una strategia ottimizzata al reclutamento di unità motorie portando con sé tutti gli aspetti sensoriale-discriminativi, cognitivo-valutativi e motivazionale – affettivi permettendo così di ridurre al minimo il dolore e a mantenere l’omeostasi.

Criterio 5

“Ad oggi, nessuno strumento tecnologico o valutazione visiva si è dimostrato capace di discernere tra soggetti «malati» e «sani» – l’errore di metodo è superiore alle possibili differenze riscontrate” (Rocha, Castro, Guarda-Nardini, & Manfredini, 2017).

Sulla base di numerosi studi che hanno messo in relazione soggetti con disturbi dell’ATM unilaterale con soggetti senza alcun disturbo, è stato dimostrato che tra i due gruppi di soggetti non vi è alcuna differenza significativa in ambito posturale, ciò significa che in entrambe le situazioni viene ben conservato l’equilibrio posturale, ciò dimostra che ad oggi l’errore di metodo supera qualsiasi strumento capace di poter riscontrare le possibili differenze.

Criterio 6

“Tutto questo non c’entra con l’occlusione dentale...ogni conseguente proposta terapeutica basata su approcci correttivi irreversibili non ha rationale biologico!” (Manfredini, Castrolino, Perinetti, & Guarda-Nardini, 2012).

Il sistema neuromuscolare è capace di mettere in atto numerosi meccanismi di compensazione che regolano l’equilibrio corporeo. L’uso di approcci clinici e strumentali viene smentito dalla letteratura a causa delle numerose variabili che

entrano in atto, ciò lascia intendere che indirizzarsi verso proposte terapeutiche basate su approcci correttivi irreversibili non abbia un razionale biologico.

Abstract

Gli effetti dell'utilizzo del Froggymouth sulla prestazione sportiva a breve termine

Lo studio ha come obiettivo quello di valutare le influenze su alcune componenti della prestazione fisica, attraverso l'utilizzo, a breve termine, del dispositivo Froggymouth, su una popolazione di soggetti impegnati nella disciplina del calcio a 5, che presentano deglutizione disfunzionale \ atipica.

Abstract (Eng)

The impact of the use of Froggymouth on the short term sport performance

The aim of the study is to evaluate the influences on some components of physical performance, through the use, in the short term, of the Froggymouth device, on a population of subjects engaged in the discipline of 5-a-side soccer, who exhibit dysfunctional \ atypical swallowing.

Capitolo 1 – Cenni anatomici: fisiologia, neurofisiologia e biomeccanica

1.1 Apparato stomatognatico

L'apparato stomatognatico è un complesso sistema anatomofunzionale coinvolto in molteplici processi biologici ed è composto da una serie di strutture interconnesse. L'apparato stomatognatico è un'unità funzionale caratterizzata da diverse strutture: componenti scheletriche (mascella e mandibola); arcate dentarie; tessuti molli (ghiandole salivari, riserve nervose e vascolari); lingua; articolazione temporo-mandibolare; muscoli masticatori (MM). Queste strutture agiscono in armonia per svolgere diversi compiti funzionali: fonazione, deglutizione, respirazione e mimica facciale (Barbatelli & et al., 2018).

Articolazione temporo-mandibolare

Dal punto di vista anatomico, l'articolazione temporo-mandibolare (ATM) è una diartrosi condiloidea, caratterizzata dalla presenza di un disco articolare che divide la cavità articolare in due spazi separati in modo fisiologico: il compartimento articolare superiore e il compartimento articolare inferiore (quest'ultimo considerato virtualmente uno spazio). Entrambi i compartimenti sono avvolti e limitati dalla capsula articolare, nota anche come legamento capsulare, che si fissa inferiormente sul collo del condilo e superiormente si inserisce sul cercine cartilagineo della fossa mandibolare (Chetta, 2011). All'interno di questi due spazi, le cellule endoteliali differenziate formano il rivestimento sinoviale. Questo rivestimento, insieme ai villi sinoviali sul margine anteriore del tessuto retro-discale, produce il liquido sinoviale che riempie entrambi i compartimenti sinoviali.

Nella parte posteriore, il disco articolare è in connessione con una regione di tessuto connettivo lasso altamente vascolarizzato e innervato, noto come zona retro-discale. Questo tessuto è delimitato superiormente ed inferiormente da due lamine che lo collegano, rispettivamente, alla membrana del timpano e alla superficie

postero-inferiore del condilo stesso. La parte rimanente del tessuto retro-discale è connessa ad un grande plesso venoso che si riempie di sangue durante lo spostamento del condilo.

L'articolazione temporo-mandibolare (ATM) riveste un ruolo fondamentale per la maggior parte delle funzioni dell'apparato stomatognatico. È coinvolta in modo cruciale nella masticazione, eseguendo movimenti complessi nei tre piani dello spazio. Inoltre, gioca un ruolo essenziale nella fonazione e nella deglutizione insieme alle altre strutture oro-rino-faringee correlate. Per quanto riguarda la cinetica temporo-mandibolare, l'ATM è in grado di compiere movimenti sia simmetrici (come apertura, chiusura, protrusione e retrusione) che asimmetrici (come lateralità prevalente e masticazione), oltre a movimenti limite, di contatto e liberi.

Il sistema dei tessuti che circondano le cavità sinoviali e che legano saldamente il disco alla testa del condilo svolge un ruolo fondamentale nel movimento di rotazione. D'altro canto, il disco articolare, con le sue particolari caratteristiche anatomiche e la sua posizione, favorisce e agevola la fluidità e l'ampiezza dei movimenti complessi dell'articolazione temporo-mandibolare. Questo è uno dei motivi per cui il disco articolare non può essere considerato un semplice menisco, poiché non svolge funzioni di stabilizzazione articolare o regolazione dei movimenti massimali.

Dal punto di vista istologico, il disco è costituito da tessuto connettivo denso e fibroso, privo di vasi sanguigni e fibre nervose. Sul piano sagittale, il disco articolare può essere suddiviso in tre regioni in base allo spessore, con l'area centrale più sottile chiamata zona intermedia, mentre le regioni anteriore e posteriore sono più spesse. In un'articolazione normale, il condilo si trova nella zona intermedia ed è delimitato dalle spesse regioni posteriori del disco (Tillman, 2009; Balboni, 2000).

Tipologie di movimenti mandibolari:

- Apertura: durante l'apertura della bocca, si verifica una combinazione di rotazione e traslazione della testa condilare della mandibola all'interno della

fossa mandibolare dell'osso temporale. Questo movimento è fondamentale per consentire l'ingresso di cibo e bevande nella cavità orale.

- **Chiusura:** il movimento di chiusura comporta il sollevamento e l'avvicinamento della mandibola all'osso temporale. Anche in questo caso, si osserva una combinazione di rotazione e traslazione della mandibola, che riporta la testa condilare nella sua posizione di riposo nella fossa mandibolare.
- **Protrusione e Retrusione:** durante la protrusione, la mandibola si sposta anteriormente rispetto alla posizione di riposo, mentre durante la retrusione, si verifica il movimento contrario, con la mandibola che si sposta posteriormente. Questi movimenti coinvolgono principalmente traslazioni della mandibola rispetto all'osso temporale.
- **Movimenti Laterali:** consentono alla mandibola di spostarsi lateralmente verso destra o sinistra. Questi movimenti sono essenziali durante la masticazione per permettere una corretta triturazione del cibo.
- **Elevazione e Depressione:** l'elevazione solleva la mandibola verso l'osso temporale, mentre la depressione abbassa la mandibola. Questi movimenti sono fondamentali per aprire e chiudere la bocca e per svolgere attività come la masticazione e la deglutizione (Perry, 1976; McKinley, O'Loughlin, & Pennefather-O'Brien, 2019).

Muscoli masticatori

La forza indispensabile al movimento mandibolare è assicurata da un consistente apparato muscolare (definito dei muscoli masticatori) costituito da quattro paia di muscoli: massetere; temporale; pterigoideo esterno; pterigoideo interno.

- Il massetere ha origine dall'arco zigomatico e si estende in direzione caudale fino alla faccia laterale del bordo inferiore del ramo mandibolare. È suddiviso in una porzione superficiale, con un decorso principalmente postero-anteriore, e una porzione profonda, con un decorso prevalentemente verticale. La contrazione del massetere provoca l'elevazione della mandibola ed è considerato un muscolo di potenza.
- Il muscolo temporale ha origine dalla fossa temporale e si inserisce sul processo coronoideo e sul margine anteriore del ramo mandibolare. Quando si contrae, solleva la mandibola. Questo muscolo può essere suddiviso in tre settori: il

settore anteriore, con fibre principalmente verticali, solleva la mandibola verticalmente; il settore medio, con fibre principalmente oblique, solleva e protrude la mandibola; il settore posteriore, con fibre principalmente orizzontali, ha una funzione controversa.

- Il muscolo pterigoideo mediale ha origine dalla fossa pterigoidea e si estende posteriormente e inferiormente per inserirsi sulla superficie mediale dell'angolo mandibolare. La sua contrazione solleva e protrude la mandibola.
- Il muscolo pterigoideo laterale ha origine dalla lamina pterigoidea laterale e si dirige anteriormente verso il polo mediale del condilo, inserendosi sulla capsula articolare, sul disco e sul collo del condilo. La sua contrazione induce un movimento laterale della mandibola verso il lato opposto.
- I muscoli digastrici, i muscoli sopra-ioidei ed i muscoli sotto-ioidei, pur non essendo considerati dei muscoli masticatori, hanno comunque un ruolo nella funzione masticatoria.
- Il muscolo digastrico origina dal processo mastoideo, si inserisce con il tendine intermedio sull'osso ioide e giunge alla fossetta digastrica della mandibola posta sulla superficie linguale della mandibola in prossimità della linea mediana. Con la contrazione dei digastrici la mandibola viene abbassata e protrusa. Stabilizzata la mandibola, i muscoli digastrici partecipano della deglutizione.
- I muscoli sopra-ioidei si inseriscono tra mandibola ed osso ioide; i muscoli sotto-Ioidei prendono, invece, inserzione tra osso ioide, clavicola e sterno. Questi muscoli coordinano la funzione mandibolare insieme con i gruppi muscolari del capo e del collo (Martini, Tallitsch, & Nath, 2016).

Legamenti

Come in qualsiasi sistema articolare, anche nell'articolazione temporo-mandibolare sono presenti dei legamenti che hanno il compito di proteggere le strutture articolari. Dal punto di vista istologico, i legamenti sono costituiti da fibre di collagene, il che li rende resistenti alla tensione. Pur non partecipando direttamente alla funzione articolare, essi agiscono come mezzi di contenimento e di limitazione del movimento articolare.

I legamenti funzionali che sostengono l'articolazione temporo-mandibolare includono: i due legamenti collaterali, il legamento capsulare, il legamento

temporo-mandibolare, il legamento sfenomandibolare e il legamento stilomandibolare.

- I legamenti collaterali connettono i margini mesiale e laterale del disco ai poli del condilo. Questi legamenti limitano lo spostamento del disco dal condilo e sono responsabili del movimento a cerniera dell'articolazione temporo-mandibolare tra il disco e il condilo mandibolare.
- I legamenti discali sono dotati di vascolarizzazione e innervazione, che trasmette informazioni sulla posizione e sul movimento articolare. Lo stiramento di questi legamenti può causare dolore.
- Il legamento capsulare circonda completamente l'intera articolazione temporo-mandibolare, trattenendo così il liquido sinoviale. È riccamente innervato e partecipa al meccanismo di feedback propriocettivo riguardante la posizione e il movimento dell'articolazione temporo-mandibolare.
- Il legamento temporo-mandibolare rinforza il lato laterale del legamento capsulare. È costituito da fibre robuste e rigide e si divide anatomicamente in una porzione obliqua esterna e una porzione orizzontale interna. Questo legamento funziona come contenimento, fulcro e protezione del tessuto retro-discale dal trauma.
- Il legamento sfenomandibolare è uno dei due legamenti accessori dell'articolazione temporo-mandibolare. Ha origine dall'osso sfenoide e si inserisce sulla lingula, una protuberanza ossea sulla superficie mediale del ramo mandibolare. Le sue funzioni rispetto alla cinetica mandibolare non sono completamente note.
- Il legamento stilomandibolare è il secondo legamento accessorio dell'articolazione temporo-mandibolare. Origina dal processo stiloideo e si dirige in avanti e verso il basso, inserendosi sul bordo posteriore della branca mandibolare. Ha il compito di limitare il movimento di protrusione.

Occlusione dentale

Per occlusione dentale si intende la relazione di contatto funzionale tra i denti dell'arcata superiore e quelli dell'arcata inferiore. Di norma, in posizione di riposo i denti non sono in contatto, ma le due arcate sono separate da uno spazio libero funzionale chiamato "*freeway space*", che misura circa 1,5 ÷ 2 millimetri. In una

situazione di buon funzionamento dell'apparato stomatognatico, quando le due arcate dentarie occludono durante la deglutizione, viene ricercata la posizione più stabile possibile. Questa posizione è caratterizzata dal massimo numero di contatti fra elementi antagonisti con distribuzione uniforme dei carichi masticatori, nel rispetto delle strutture parodontali e mantenendo i muscoli masticatori in tono normale

Per poter essere definita ideale l'occlusione deve presentare determinate caratteristiche, che prendono il nome da chi le ha postulate, le sei chiavi dell'occlusione di Andrews.

1° Rapporto inter-arcata: la prima delle sei chiavi è definita dal corretto contatto tra i denti dell'arcata superiore e quelli dell'arcata inferiore, in particolare dal contatto tra primo molare superiore e primo e secondo molare inferiore, e dal contatto del canino superiore con il canino e il primo premolare inferiore.

2° Angolazione delle corone: ogni dente deve avere la sua specifica angolazione mesio-distale dell'asse longitudinale rispetto al piano oclusale.

3° Torque delle corone: ogni dente deve avere la sua giusta e specifica torque. Il torque è la versione palato-vestibolare di ogni singolo elemento dentale, cioè la posizione spaziale del corpo dentale che ad esempio, in una posizione corretta, porta gli incisivi superiori ad avere la corona maggiormente vestibolarizzata rispetto alla radice

4° rotazione: Ogni dente deve essere esente da rotazioni indesiderate. Gli elementi dentali ruotati occupano, ad esempio, uno spazio maggiore o minore. Le rotazioni determinano inoltre precontatti oclusali, spostando le cuspidi di centrica in zone diverse dalle fosse.

5° Punti di contatto: l'occlusione ideale deve essere caratterizzata da punti di contatto molto serrati, al fine di evitare spaziature.

6° Piano oclusale: Uno degli obiettivi del trattamento è ottenere un piano oclusale piano. Una curva di Spee profonda significa spazio per i denti mascellari. Una curva di Spee inversa determina affollamento dentario nella mandibola e spazi nel mascellare (Ash, 2007).

1.2 Lingua e deglutizione

Anatomia

La lingua è costituita da uno scheletro fibroso e da muscoli striati intrinseci (originano e si inseriscono nella lingua) ed estrinseci (originano o terminano al di fuori della lingua) che si incrociano ad angolo retto. Delle parti libere, l'inferiore è liscia, mentre la superiore presenta anteriormente delle papille e posteriormente dei rilievi maggiori. Il confine tra il corpo e la radice della lingua è dato dalla V linguale. La lingua è principalmente un organo senza una struttura ossea o cartilaginea, il che le consente di mantenere un volume costante anche durante la contrazione dei muscoli. Attraverso una contrazione selettiva dei muscoli, la lingua può creare un supporto rigido che permette la contrazione di specifiche fibre muscolari, generando movimenti mirati e selettivi (Takemoto, 2001).

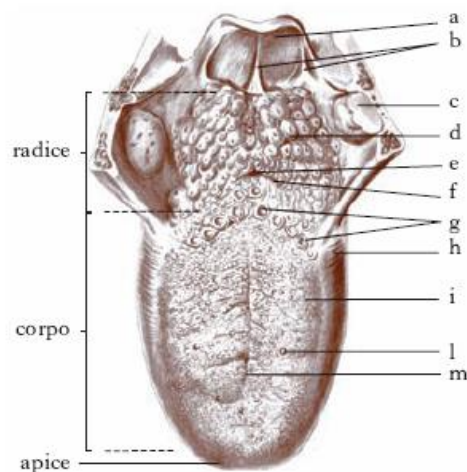


Figura 1 - La lingua è situata per i due terzi anteriori nella cavità orale, per il terzo posteriore nella faringe (Enciclopedia Treccani).

La lingua si divide in tre zone Corpo, Apice e Radice, ed è rivestita da una mucosa. La mucosa è formata da epitelio pavimentoso stratificato non cheratinizzato che aderisce tenacemente alla sottostante massa muscolare, specie in corrispondenza della superficie dorsale del corpo, dove la sottomucosa è praticamente assente. Sulla superficie superiore del corpo della lingua, che appare più rugosa, si possono distinguere quattro tipi di papille: Circumvallate, Fungiformi, Foliolate e Filiformi.

- Le papille Circumvallate, così chiamate per la loro struttura a forma di vallo, con un grande fossato attorno. Sulle pareti del vallo si trovano i calici gustativi e sul fondo del vallo si trovano le ghiandole di von Ebner, che producono un liquido sieroso. Questo liquido serve per lubrificare il vallo, prevenire infezioni e aiutare a sciogliere il cibo all'interno del vallo, facilitandone la percezione da parte dei bottoni gustativi. Le papille circumvallate, 10 o 12 in totale, costituiscono la cosiddetta "V linguale" e si trovano sul lato posteriore del corpo della lingua, affondate nella mucosa. Sulla superficie apicale, l'epitelio è liscio e sono presenti molti calici gustativi lateralmente, fino a circa 250.
- Le papille Fungiformi hanno una struttura bozzoluta e sono sparse tra le papille filiformi. Presentano una caratteristica forma a fungo, con un peduncolo e una superficie libera a sfera appiattita. L'epitelio è pavimentoso stratificato non cheratinizzato e spesso presenta calici gustativi sulla sommità. Le papille fungiformi sono più numerose all'apice della lingua.
- Le papille Foliate sono situate ai margini del corpo linguale, di fronte al pilastro glossopalatino. Contengono la maggior parte dei calici gustativi e presentano ghiandole a secrezione sierosa che si aprono alla loro base.
- Le papille Filiformi sono le più numerose e si trovano su tutta l'area antistante alla "V linguale" e ai margini della lingua. Sono lunghe circa 2-3 mm, hanno un asse connettivale e terminano con un'estremità epiteliale appuntita costituita da cellule piatte che si cheratinizzano all'apice della papilla. Le papille filiformi svolgono principalmente una funzione meccanica, aggrappando il cibo, e una funzione nervosa, tattile. Grazie alla loro grande quantità, contribuiscono alla grande precisione tattile della lingua.

Ghiandole linguali

La lingua presenta anche ghiandole tubulo-acinose composte, a secrezione sierosa, mucosa o mista. Le ghiandole anteriori sono presenti soprattutto sulla faccia ventrale (inferiore), sboccano ai lati del frenulo linguale, sono ghiandole sottomucose e hanno secrezione mista; le ghiandole laterali sono ghiandole intramuscolari (cioè, si trovano all'interno dei fascetti muscolari della lingua) e raggiungono l'epitelio con un lungo dotto escretore; si trovano soprattutto nei margini laterali, invadono anche il muscolo palatoglosso e hanno una secrezione mista. Le ghiandole posteriori si dividono in superficiali e profonde: le superficiali

sono ghiandole sottomucose che si trovano a livello della tonsilla linguale e sboccano nelle cripte epiteliali, la loro secrezione è mucosa; le profonde sono quelle di von Ebner, che si trovano nelle papille vallate e hanno una secrezione sierosa.

Muscolatura lingua

La muscolatura della lingua si costituisce a partire dai mioblasti del miotoma occipitale che migrano nella lingua lungo le vie larghe. I muscoli della lingua si dividono in estrinseci ed intrinseci. I muscoli estrinseci connettono la lingua a strutture vicine come la mandibola, l'osso ioide, il palato, l'osso temporale e la faringe. Questi includono:

- **Genioglosso:** il muscolo genioglosso nasce dal ginocchio della mandibola inferiore che origina dal primo arco branchiale. È il più grande muscolo della lingua, a forma triangolare, che si estende nel centro della lingua e ha origine dalla spina mentale della mandibola, inserendosi poi nell'osso ioide. Le sue fibre contratte possono protrudere la punta della lingua o generare movimenti in avanti e verso l'alto o appiattare la lingua nella regione velare (Grimaldi, 2009).
- **Stiloglosso:** proviene dal primo e dal secondo arco branchiale. ha forma allungata e origina dall'apice del processo stiloideo e dalla parte alta del legamento stilomandibolare, per poi portarsi in basso, avanti e medialmente, inserendosi nell'apice e nel setto linguale. La sua contrazione solleva e spinge dorsalmente la lingua, causando un accumulo del dorsum della regione velare (Grimaldi, 2009).
- **Ioglosso:** il muscolo ioglosso è il più grande dei muscoli estrinseci della lingua. Si estende dalla mascella, dalla mandibola e dall'osso linguale fino alla base della lingua. È coinvolto nel sollevamento e nella depressione della lingua, nonché nella sua retrazione e protrusione
- **Glossopalatino:** partecipa alla costituzione dell'arco glossopalatino. Prende origine dalla faccia anteriore dell'aponeurosi palatina e raggiunge, decorrendo in basso e in avanti, l'estremità posteriore del margine laterale della lingua dove i suoi fasci divergono portandosi in parte trasversalmente per inserirsi al setto linguale e in parte dirigendosi in avanti, insieme ai fasci del muscolo stiloglosso.

- Condroglosso è un muscolo estrinseco della lingua; contraendosi, trae la lingua in basso e indietro. Origina dal piccolo corno dell'osso ioide e si porta in alto e in avanti; raggiunta l'estremità posteriore del margine laterale del corpo linguale, i suoi fasci si espandono terminando sul muscolo longitudinale inferiore.
- Amigdaloglosso è un muscolo estrinseco della lingua; contraendosi, solleva la base della lingua, applicandola contro il velo palatino. È un sottile fascio muscolare che origina dall'aponeurosi faringea, nel tratto che riveste esternamente la tonsilla palatina.

I muscoli intrinseci, invece, hanno origine e inserzione all'interno della lingua stessa, formando una matrice tridimensionale di fibre motorie. Questi includono:

- Muscolo superiore longitudinale (SL): situato subito sotto la superficie della lingua, permette il suo accorciamento e la curvatura verso l'alto della lamina.
- Muscolo inferiore longitudinale (IL): posizionato al di sotto del muscolo superiore longitudinale, consente di abbassare la punta della lingua.
- Muscolo trasverso e verticale (TV): il primo va da lato a lato della lingua, mentre il secondo si estende infero-lateralmente dal dorso della lingua, entrambi consentono l'abbassamento e l'appiattimento della superficie linguale. Questo complesso muscolare è responsabile dei movimenti fini della lingua e degli adattamenti necessari per assumere forme diverse (Grimaldi, 2009).

Innervazione lingua

La lingua è innervata dai nervi cranici, che dividono la loro funzione in motoria e sensitiva. Dal funzionamento dei 6 nervi cranici dipende una buona deglutizione.

- Nervo trigemino (5° paio) è il più voluminoso dei nervi encefalici. Deve il suo nome al tipo di distribuzione periferica che ha luogo attraverso le tre branche in cui si divide: il nervo oftalmico, il nervo mascellare e il nervo mandibolare. È un nervo misto costituito da un contingente maggiore di fibre sensitive somatiche e da un minor numero di fibre motrici somatiche. Alle tre branche del nervo trigemino si trovano annessi diversi gangli parasimpatici: il ganglio ciliare, il ganglio sfeno-palatino i gangli sottomandibolare sottolinguale e il ganglio ottico, ai quali giungono fibre pregangliari da altri nervi encefalici e il ganglio semilunare al cui margine concavo, posteriore, giungono la radice

sensitiva e quella motrice del trigemino; dal margine convesso, anteriore del ganglio si staccano le tre branche del trigemino: in alto e medialmente il nervo oftalmico, al centro il nervo mascellare, in basso e in fuori il nervo mandibolare

Tabella 1 - Riassunto delle funzioni dei nervi cranici

Nervo	Funzione	Area innervata
Trigemino	Sensitiva	Cavità orale, lingua, denti
	Motoria	Muscoli masticatori
Faciale	Sensitiva	Papille gustative, lingua anteriore
	Motoria	Muscoli mimici, muscolo dell'ugola, stiloioideo, ventre posteriore del digastrico
Glossofaringeo	Sensitiva	Istmo delle fauci, tonsilla palatina, faringe
	Motoria	Muscoli della faringe
Vago	Sensitiva	Faringe, laringe, epiglottide
	Motoria	Muscolatura striata della prima parte dell'esofago, muscoli della laringe, faringe
Accessorio spinale	Motoria	Muscolo trapezio, muscolo sternocleidomastoideo
Ipoglosso	Motoria	Muscoli della lingua, muscoli sottoioidei

- Nervo faciale (7° paio) comprende due distinti nervi, il nervo faciale propriamente detto e il nervo intermedio del Wrisberg. Il nervo faciale propriamente detto è composto da fibre motrici somatiche che originano nel ponte, dal nucleo del nervo faciale, e provvedono all'innervazione dei muscoli mimici e di altri muscoli derivati embriologicamente dal secondo arco branchiale. Contiene inoltre fibre parasimpatiche pregangliari originate dal nucleo muconasolacrimale che recano stimoli effettori per la ghiandola lacrimale e le ghiandole della mucosa del naso del palato. Il nervo intermedio del Wrisberg comprende fibre sensitive somatiche e viscerali che hanno un'origine comune nel ganglio genicolato e che si distribuiscono ai due terzi anteriori della lingua, dove raccolgono la sensibilità gustativa specifica e vanno inoltre ad una ristretta area cutanea del padiglione auricolare. I prolungamenti centrali di queste fibre sensitive mettono capo al nucleo del fascicolo solitario, per la sensibilità

gustativa, e al nucleo della radice discendente del trigemino per la sensibilità generale. Il nervo intermedio comprende anche fibre pregangliari parasimpatiche che originano dal nucleo salivatorio superiore e recano stimoli effettori viscerali per le ghiandole sottomandibolare e sottolinguale e per le ghiandole salivari minori. Il 7° paio emerge dal tronco encefalico in corrispondenza della fossetta sopraolivare ai limiti tra bulbo e ponte; passa poi sopra il cervelletto e procede insieme al nervo statoacustico verso il meato acustico interno, dove si immettono nel canale facciale. All'uscita del canale facciale il nervo si immette nella loggia carotide, e cede i suoi rami terminali: il tronco temporo-facciale e il tronco cervico facciale

- Nervo glossofaringeo (9° paio) è un nervo misto che contiene un esiguo numero di fibre motrici somatiche che originano dal nucleo ambigu del midollo allungato e si distribuisce al muscolo costrittore superiore della faringe e al muscolo stilofaringeo, fibre effettrici viscerali nascono nel bulbo dal nucleo salivatorio inferiore e recano stimoli secretori per la ghiandola parotide e per le ghiandole salivari minori. Le fibre sensitive somatiche, prolungamenti di neuroni del ganglio superiore raccolgono alla periferia stimoli sensitivi della mucosa della cassa del timpano, della tuba uditiva e di un ristretto territorio del padiglione auricolare e inviano alla radice discendente del nervo trigemino; le fibre sensitive viscerali infine originano dal ganglio petroso e trasmettono al nucleo del tratto solitario stimoli viscerali superficiali raccolti dai recettori gustativi del terzo posteriore della lingua. Le fibre delle quattro componenti sopra descritte emergono in corrispondenza del solco laterale posteriore del bulbo e si dirigono verso il foro giugulare; passa infine tra la vena giugulare e l'arteria carotide interna giungendo poi sulla parete laterale del faringe. Qui emette rami per la radice della lingua nella quale penetra formando un plesso di rami terminali e rami linguali
- Nervo vago o pneumogastrico (10° paio) è un nervo misto, costituito da tutte e quattro le componenti di fibre, somatiche e viscerali. È il più lungo dei nervi encefalici ed è di notevole importanza in quanto porta un grosso contingente di fibre effettrici viscerali (parasimpatiche) che innervano la maggior parte dei visceri del torace e dell'addome. La componente effettrice viscerale è rappresentata da fibre pregangliari che originano dalla porzione media e caudale del nucleo motore dorsale del vago e recano stimoli effettori al cuore, alla parete

dell'aorta e dei suoi grossi rami, alle ghiandole ed alla muscolatura liscia delle vie respiratorie, dell'apparato digerente e di una parte dell'apparato urinario; le fibre pregangliari mettono capo a gangli e ad agglomerati di cellule gangliari parasimpatiche dislocati in vicinanza dell'organo che viene innervato.

La componente di fibre motrici somatiche si distribuisce alla muscolatura striata della faringe, della laringe e della parte prossimale dell'esofago; l'origine reale delle fibre ha luogo nella porzione caudale del nucleo ambiguo, che è comune anche al nervo glosso faringeo. Le fibre sensitive viscerali del nervo vago originano nel ganglio nodoso o plessiforme: i prolungamenti periferici dei protoneuroni pseudounipolari raccolgono stimoli della sensibilità viscerale generale dal seno aortico e dal glomo aortico, oltre che dalla mucosa della laringe, della faringe, della trachea, dell'esofago e degli altri visceri toracici ed addominali. I prolungamenti centrali dei protoneuroni del ganglio nodoso si recano, nel bulbo, al nucleo del tratto solitario. Le fibre sensitive somatiche rappresentano un contingente esiguo. Hanno origine dal ganglio giugulare, raccolgono stimoli sensitivi da un piccolo territorio cutaneo dal padiglione dell'orecchio e inviano al nucleo della radice discendente del trigemino.

Il nervo vago emerge in corrispondenza del solco laterale posteriore del bulbo; dalla sede di emergenza converge in alto, lateralmente ed in avanti, piega in basso passando nel foro giugulare, e, attraversando il collo si avvicina all'arteria carotide interna e alla vena giugulare interna, costituendo il fascio vascolonervoso del collo. Alla base del collo il nervo vago di destra scende anteriormente all'arteria succlavia, il nervo vago di sinistra decorre tra l'arteria carotide comune, che gli è posta davanti e l'arteria succlavia, che è situata posteriormente. All'entrata nel torace il nervo vago di destra passa dietro alla vena cava superiore e si avvicina progressivamente alla trachea. Prosegue posteriormente al bronco destro, tra questo e il tratto terminale della vena azygos e, risolvendosi in numerosi rami fra loro anastomizzati, si dispone a ridosso della parete posteriore dell'esofago. Il nervo vago di sinistra imbecca l'apertura superiore del torace decorrendo posterolateralmente all'arteria carotide comune. Incrocia poi l'arco dell'aorta, passando tra questo e la pleura mediastinica, decorre posteriormente al bronco sinistro e, come il vago di destra, si risolve in una serie di rami fra loro anastomizzati che scendono lungo la parete anteriore dell'esofago. I nervi vaghi entrano quindi nella cavità addominale, passando

attraverso l'orifizio esofageo del diaframma. Il nervo vago di destra scende dietro l'esofago, poi dietro al cardia e prosegue sulla parete posteriore dell'addome giungendo fino al tronco celiaco, dove termina nel ganglio celiaco di destra. Al ganglio celiaco di destra giunge anche il ramo terminale del nervo grande splancnico. Nervo vago e nervo grande splancnico di destra, confluendo ai due poli opposti del granchio celiaco, formano l'ansa memorabile (di Wrisberg). Il nervo vago di sinistra si prolunga dall'esofago sulla faccia anteriore dello stomaco, suddividendosi in numerosi rami che si raggruppano nei pressi della piccola curvatura e costituiscono il plesso gastrico anteriore. Il plesso gastrico posteriore deriva dai rami collaterali del nervo vago di destra che si anastomizzano sulla faccia posteriore dello stomaco, vicino alla piccola curvatura.

Il nervo vago invia lungo il suo decorso numerosi rami collaterali: alcuni nascono nel collo, altri nel torace altri poi nella cavità addominale

- Rami collaterali cervicali: il nervo vago emette nel collo numerosi rami anastomotici: un ramo anastomotico per il ganglio cervicale superiore della catena dell'ortosimpatico; rami anastomotici per il nervo glossofaringeo, il nervo accessorio, il nervo ipoglosso e i primi nervi spinali. Emette poi altri importanti rami collaterali per le meningi, per i visceri del collo e del torace.
- Rami collaterali toracici: i rami collaterali della porzione toracica del nervo vago hanno, per la maggior parte, aspetto plessiforme.
- Rami collaterali addominali: la distribuzione dei due nervi vaghi nella cavità addominale avviene con modalità differente. Il vago di sinistra discende sulla faccia anteriore dello stomaco, in prossimità della piccola curvatura e si suddivide in numerosi rami fra loro anastomizzati che costituiscono il plesso gastrico anteriore. Da questo plesso nascono rami gastrici per la parete anteriore dello stomaco e rami epatici che risalgono all'ilo del fegato passando nel piccolo omento e contribuiscono alla formazione del plesso epatico. Il vago di destra cede alla parete posteriore dello stomaco alcuni rami che si anastomizzano fra loro in prossimità della piccola curvatura, formando il plesso gastrico posteriore. Da questo nascono rami gastrici per la parete posteriore dello stomaco. La maggior parte delle fibre del nervo vago scende fino al plesso celiaco dell'ortosimpatico, terminando all'estremità mediale del ganglio celiaco. Dal plesso celiaco le fibre del

nervo vago si distribuiscono, unitamente alle fibre ortosimpatiche, nelle diramazioni del plesso celiaco stesso: i plessi pari, quali il plesso frenico, surrenale, renale e ovario o spermatico; i plessi impari, quali il plesso lienale, epatico, gastrico superiore e mesenterico superiore. Sono esclusi dall'innervazione vagale la parte del colon che a seguito alla flessura sinistra, il retto, la vescica e gli organi genitali della pelvi con i corpi cavernosi.

- Nervo accessorio (11° paio) è formato esclusivamente da fibre motrici somatiche che originano dal nucleo dell'accessorio posto alla base delle corna anteriori dei primi neuromeri del midollo spinale. Si distribuisce ad una parte del muscolo trapezio e al muscolo sternocleido- mastoideo. Nasce con diverse radicole che si distaccano della faccia laterale del midollo spinale, in corrispondenza dei primi quattro segmenti cervicali. Le radicole attraversano lo spazio subaracnoideo del midollo e accollandosi in unico tronco risalgono nella cavità cranica passando per il foro occipitale. Il nervo si piega quindi in fuori verso il foro giugulare che attraversa raggiungendo così la faccia profonda del muscolo sternocleidomastoideo e del muscolo trapezio dopo aver attraversato la parte alta della fossa sopraclaveare.
- Nervo ipoglosso (12° paio) è composto esclusivamente da fibre motrici somatiche che originano dal nucleo del nervo ipoglosso sito nella parte dorsale del bulbo; innerva i muscoli della lingua e delle regioni sopra e sottoioidea, emerge poi dal bulbo nel solco anterolaterale con una serie longitudinale di radicole. Queste confluiscono in due o tre tronchi e poi formano un unico nervo che fuoriesce dalla cavità cranica passando per il canale omonimo dirigendosi verso la radice della lingua. Decorre inizialmente dietro i muscoli Stiliani e al fascio vascolo nervoso del collo, passa poi tra l'arteria carotide interna e il nervo vago situati medialmente e la vena giugulare interna posta lateralmente. Raggiunta la regione sopra ioidea, si applica sulla superficie esterna del muscolo ipoglosso, tra questo e la ghiandola sottomandibolare. Assume poi un decorso orizzontale e parallelo all'osso ioide e insieme alla vena linguale giunge alla loggia sottolinguale dove si suddivide in un ciuffo di rami terminali, rami linguali, distribuendosi ai muscoli intrinseci della lingua.

Deglutizione fisiologica e disfunzionale

La deglutizione è un atto fisiologico d'importanza vitale per l'organismo umano. Si deglutisce 1400/1800 volte al giorno (circa una volta al minuto) e ad ogni atto di deglutizione la spinta che la lingua esercita sul palato varia da trecento grammi fino ad arrivare a tre chilogrammi. Ogni atto deglutitorio mette in funzione sinergicamente 68 muscoli e durante la deglutizione si portano a contatto i denti e quindi si crea una tensione occlusale. In condizioni fisiologiche la lingua, quando si deglutisce, ha la sua estremità anteriore su di una piccola area ben determinata del palato, compresa tra la base degli incisivi centrali superiori e la prima ruga palatina, che viene chiamata "spot palatino" mentre il dorso linguale si adagia sul palato. In questa zona sfoccano le terminazioni del nervo naso-palatino (o nervo vi diano), ramo della seconda branca del nervo trigemino. Halata e Baumann hanno riscontrato nello spot palatino una grandissima concentrazione di esterocettori (Halata & Baumann, 1999), con funzione di informare il sistema nervoso centrale sulle tensioni muscolari e di conseguenza sui cambiamenti posturali della regione. La posizione della lingua e quindi l'atto deglutitorio sono dunque in grado di influenzare in modo marcato l'assetto posturale (Alghadir, Zafar, & Iqbal, 2015). Nel 1979 si è evidenziato come la neurotomia trigeminale modifichi i potenziali vestibolari, determinando un incremento nell'ampiezza del 30-50% delle onde N1 e N2, mentre la configurazione e la latenza rimangono inalterate (Petrosini, Troiani, & Zannoni, 1979).

Anatomofisiologia della deglutizione

La funzione deglutitoria viene suddivisa in quattro fasi cronologicamente successive e distinte, con riferimento alle regioni anatomiche via via interessate dal transito del bolo alimentare: preparazione orale, stadio orale, stadio faringeo e stadio esofageo.

Il processo della deglutizione inizia con il movimento dell'osso ioide in posizione elevata e l'inibizione della respirazione per permettere la corretta funzione deglutitoria e respiratoria. Durante l'atto deglutitorio, i nervi cranici controllano i muscoli della bocca, della laringe e dell'esofago in un complesso meccanismo coordinato. La deglutizione avviene in tre fasi: una fase volontaria iniziale, seguita

da una fase faringea involontaria e infine una fase esofagea che coinvolge i muscoli costrittori. I segnali nervosi provenienti dal cavo orale, dalla faringe, dall'epilaringe e dai seni piriformi convergono nel sistema spinale trigeminale e portano al centro della deglutizione nel cervello, che invia segnali ai muscoli coinvolti nell'atto deglutitorio.

Fase orale: normalmente l'atto deglutitorio si svolge al di fuori del controllo corticale ma la fase orale si differenzia dalle altre perché consapevole e volontaria, ciò è di fondamentale importanza ai fini terapeutici poiché consente nei casi di presenza di deglutizione disfunzionale, di correggere la prassia infantile in quella di tipo adulto, con esercizi volontari di rieducazione neuro muscolare. Nel trattare casi di deglutizione disfunzionale l'attenzione è focalizzata sulle prime due fasi che nella deglutizione adulta o matura sono caratterizzate da precisi e rigorosi schemi motori che vedono coinvolta lingua, mandibola, labbra e guance. Una volta che il cibo viene trasformato in bolo viene trattenuto e compresso tra la porzione anteriore del dorso linguale e la porzione anteriore del palato. La punta della lingua poggia sul terzo anteriore del palato, precisamente sulle creste palatine, la parte mediana si solleva schiacciandosi contro la volta del palato, mentre la parte posteriore si stacca dal palato formando un angolo di 45° permettendo così il transito del bolo (Levrini, 1997).

I bordi linguali si trovano fra il margine radicolare dei denti superiori e la porzione di palato iuxta dentale. Si verificano in tal modo contrazioni intrinseche della lingua che deformano, con un movimento ondoso, il corpo linguale. L'apice della lingua esercita sul suo punto di appoggio una pressione di circa 100g/cm², mentre quella esercitata da tutto il suo insieme sui denti è di circa 2 kg, per un tempo che oscilla tra un quinto e un decimo di secondo. Contemporaneamente alla spinta verso l'alto della lingua, la mandibola si solleva e le arcate dentali vengono a contatto grazie alla contrazione dei muscoli masticatori: temporale, massetere e pterigoideo interno, innervati dal V paio di nervi cranici. La forza applicata ai denti durante la deglutizione è di circa 30 kg, per una durata di circa 685 millisecondi (Levrini, 1997). Le labbra e le guance si chiudono senza sforzo o contrazioni visibili: non vi è alcuna partecipazione attiva della muscolatura mimica. Un qualunque schema motore differente da quello sopra descritto contraddistingue il quadro di un'anomalia funzionale definita "deglutizione disfunzionale".

Il passaggio da una deglutizione infantile ad una deglutizione adulta avviene in alcuni mesi; tale passaggio è favorito dalla maturazione neuromuscolare, dall'acquisizione della posizione eretta del capo, dalla necessità di variare l'alimentazione da liquida a solida, dal desiderio di assaggiare nuovi alimenti e dal completamento della dentizione. Nella media i bambini completano lo sviluppo della deglutizione matura intorno ai 12-15 mesi. Per deglutizione disfunzionale si intende la persistenza, in età adulta, di modalità deglutitorie con caratteristiche funzionali tipiche della prima infanzia, il cui schema è anteriore, mentre nell'adulto diviene posteriore.

Caratteristiche (Tabella 2): punta della lingua in contatto con l'arcata superiore o inferiore, o interposta fra queste, per lo più anteriormente, a volte lateralmente, da uno o entrambi i lati; porzione mediana che forma una concavità verso l'alto allontanandosi dal palato e spingendo lateralmente verso lo spazio interocclusale; porzione posteriore che poggia contro la zona più distale del palato e contro la parete faringea (Levrini, 1997). In queste condizioni la spinta del bolo in esofago è garantita dall'attivazione dei muscoli buccinatori delle guance e del muscolo orbicolare delle labbra, la cui contrazione è, in questo caso, ben visibile e talvolta associata a ipercontrazione del muscolo mentoniero.

Tabella 2 - Differenze tra deglutizione adulta ed infantile (Garofalo & Pietrobono, 2006)

DEGLUTIZIONE FISIOLOGICA ADULTA	DEGLUTIZIONE ATIPICA
Punta della lingua sulle rughe palatine	Punta della lingua contro i denti superiori, fra le arcate dentali o contro i denti inferiori
Dorso della lingua sul palato duro	Dorso della lingua sulla porzione anteriore del palato e incurvato verso il basso
La base della lingua forma un angolo di 45° con il velo palatino	Base della lingua sulla parte posteriore del palato duro e in basso verso il tratto iniziale dell'orofaringe
Contrazione dei muscoli masticatori	Assenza della contrazione dei muscoli masticatori e spinta laterale della lingua verso i denti
Muscolo mentoniero passivo	Iperfunzione del muscolo mentoniero
Muscolo orbicolare passivo o con modeste contrazioni	Contrazione evidente dell'orbicolare
Normo-occlusione dentaria	Malocclusione dentaria

Grazie ad uno studio approfondito con l'elettromiografia di superficie (sEMG) (Figura 3) e la kinesiografia mandibolare (CMS)(Figura 2), possiamo documentare come la deglutizione disfunzionale con interposizione di lingua o guance si può associare all'impossibilità di serrare i denti in massima intercuspidação e ad usare un carico di lavoro ridotto dei muscoli elevatori durante la fase di stabilizzazione della mandibola proprio per evitare il morsicamento (Figura 4) Si osservano infatti la contemporanea disattivazione dei muscoli masseteri e temporali della mandibola e l'attivazione dei solo muscoli abbassatori mentre si apre la bocca per far posto alla lingua. La fase successiva di ritorno alla posizione di riposo e alla posizione di intercuspidação dimostra la buona funzionalità dei muscoli elevatori in serramento dentale volontario. Si possono osservare poi fenomeni di attivazione di muscoli limitrofi normalmente non coinvolti nella deglutizione come gli sternocleidomastoidei la cui partecipazione dimostra lo sforzo muscolare necessario a garantire il passaggio del liquido o del bolo alimentare.



Figura 2 - Rappresentazione grafica della kinesiografia mandibolare. Valutazione elettromiografica di superficie dei muscoli dell'apparato masticatorio (Gizdulich & Vincenzo, 2004).

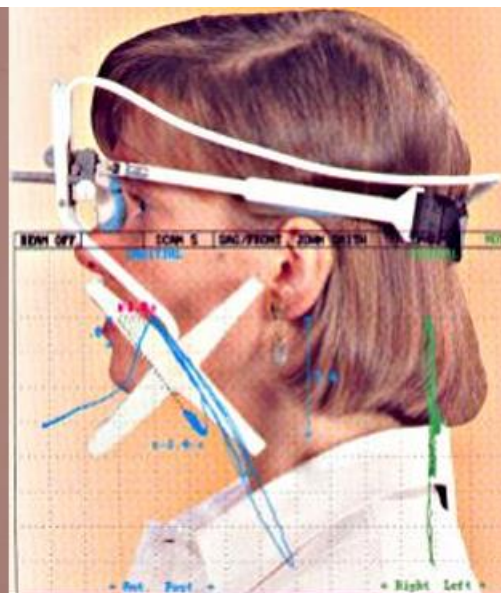


Figura 3 - Rappresentazione dell'sEMG masticatoria utilizzata per la scansione computerizzata dei movimenti mandibolari (Gizdulich & Vincenzo, 2004).

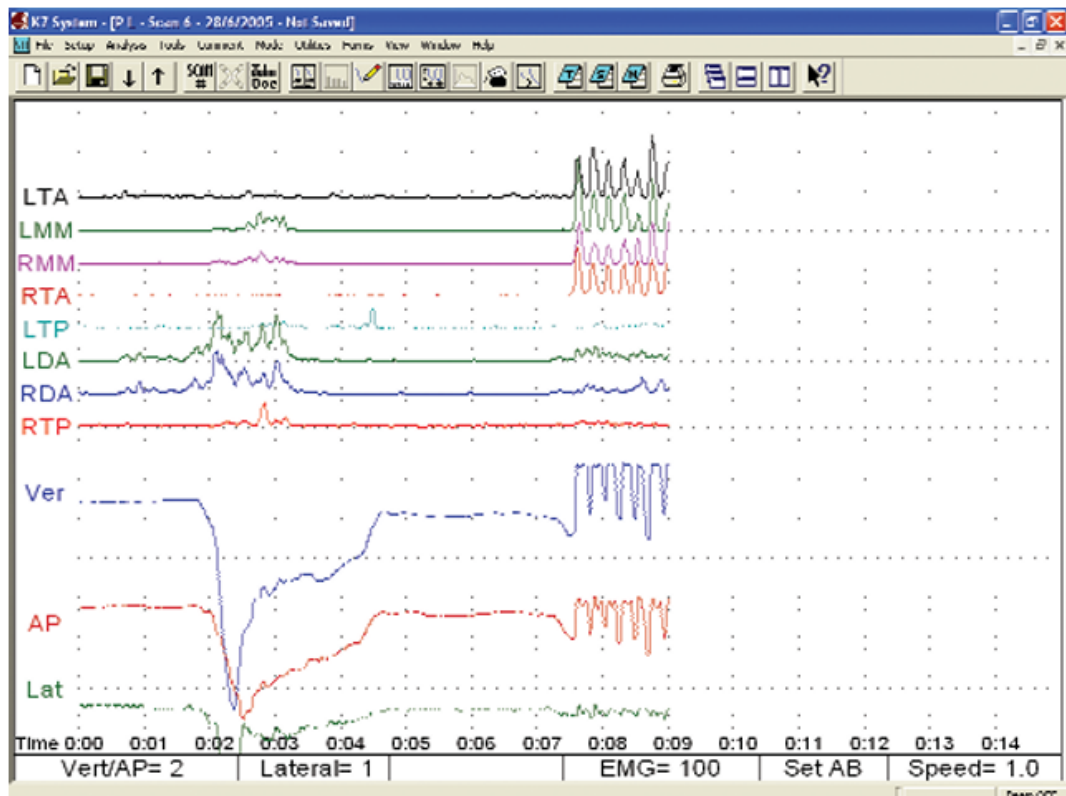


Figura 4 - (Gizdulich & Vincenzo, 2004)

Tracce elettromiografi in alto: attività delle fibre anteriori del muscolo temporale sinistro (LTA) e destro (RTA), delle fibre mediane del muscolo massetere sinistro (LMM) e destro (RMM), delle fibre del capo mastoideo del muscolo sternocleidomastoideo sinistro (LTP) e destro (RTP), delle fibre del ventre anteriore del muscolo digastrico sinistro (LDA) e destro (RDA). Tracce kinesiografiche in basso scomposte nei tre piani dello spazio: movimenti mandibolari sull'asse verticale (Ver), sull'asse orizzontale antero-posteriore (AP), sull'asse orizzontale frontale (Lat).

1.3 Arto inferiore e modello di Koch

Anca

L'articolazione dell'anca o articolazione coxo-femorale collega l'arto inferiore alla pelvi ed è un'articolazione di tipo enartrosi. È formata dalle superfici articolari della testa del femore, sferica e convessa, e l'acetabolo o cavità cotiloidea, sferica e concava. La testa del femore rappresenta due terzi di una sfera, è orientata

obliquamente verso l'alto, verso l'interno e in avanti. A livello della superficie articolare, nell'unione del terzo inferiore con i due terzi superiori si trova una piccola depressione rugosa denominata fossa della testa, fovea capitis, dove si inserisce il legamento rotondo che si estende fino alla gola acetabolare, con una lunghezza media di 30-35 mm. In fondo a questa fossa troviamo numerosi orifizi di piccole dimensioni attraverso i quali penetrano i vasi all'interno della testa femorale. Ciò che collega la testa alla diafisi femorale è il collo, rappresentato da una struttura abbastanza irregolare. Quest'ultimo presenta una forma di cilindro appianato in direzione antero-posteriore, prossimalmente più largo per sostenere la testa femorale. L'estremo distale è molto più voluminoso e presenta due eminenze: il gran trocantere situato lateralmente e punto di inserzione di molti muscoli periarticolari e il piccolo trocantere, di dimensioni inferiori, situato nella parte posteroinferiore e punto di inserzione dell'ileopsoas.

Il collo del femore forma un angolo, α chiamato angolo di inclinazione, con l'asse diafisario nel piano frontale che varia nel corso della vita, passando dai 150° a 3 settimane di vita ai 125° circa nell'adulto. Quando l'angolo è abnormemente ampio (circa 145°), l'asse femorale è posizionato lateralmente e si è in presenza di anca vara, mentre quando l'angolo è eccessivamente piccolo (circa 110°), l'asse femorale è posizionato medialmente e si parlerà di anca valga (Sahrman, 2015). Un altro angolo da citare è quello che il collo femorale forma con l'asse trasversale dei condili femorali, sul piano frontale, chiamato angolo di declinazione o di torsione. Fisiologicamente, nell'adulto medio, questo angolo è aperto anteriormente di circa 14° , anche se sono possibili variazioni; l'antiversione è un aumento patologico dell'angolo di declinazione, mentre la retroversione è una sua diminuzione.

Alla nascita l'angolo di declinazione varia tra 30° e 35° , ma diminuisce progressivamente fino a circa i 6 anni di età, portando il femore e la testa femorale ad essere orientati più medialmente nell'acetabolo. La testa femorale viene accolta nella cavità cotiloidea formata dalla fusione delle tre ossa del bacino (ileo, ischio e pube) ed è orientata in fuori, in basso e in avanti. La cavità cotiloidea è contornata dal ciglio cotiloideo sul quale si attacca il labbro cotiloideo, fibrocartilagine con sezione triangolare. Ha una forma a C e si continua, a completare l'anello che

circonda l'acetabolo, con il legamento trasverso. Quest'ultima è una struttura legamentosa che passa a ponte sul margine inferiore della fossa cotiloidea.

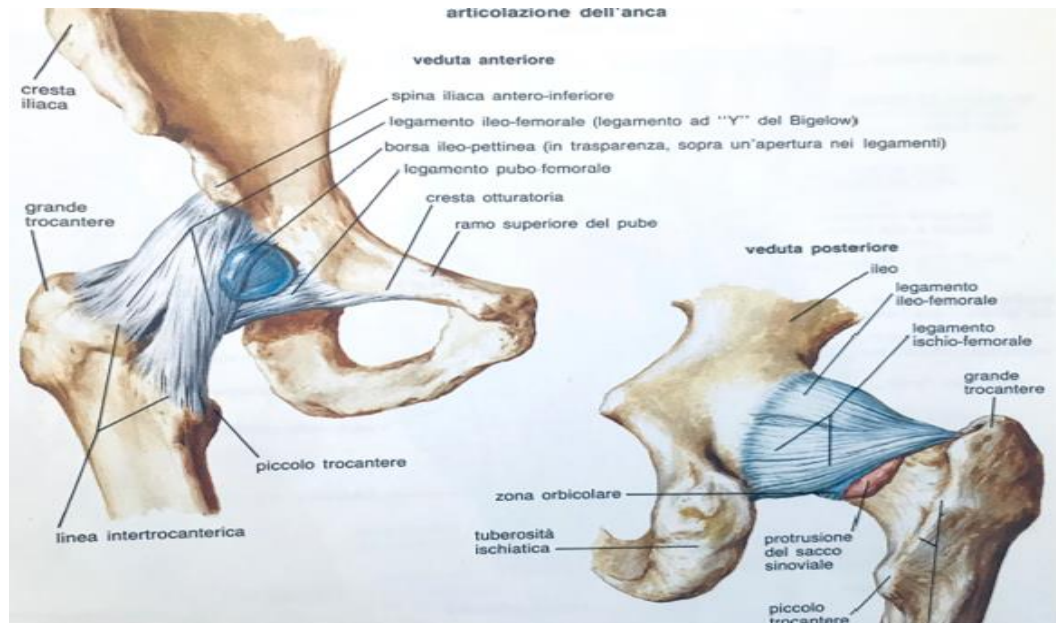


Figura 5 - articolazione dell'anca vista anteriore (sinistra): articolazione dell'anca vista posteriore (destra) (Netter, 2015).

Alla nascita l'angolo di declinazione varia tra 30° e 35°, ma diminuisce progressivamente fino a circa i 6 anni di età, portando il femore e la testa femorale ad essere orientati più medialmente nell'acetabolo. La testa femorale viene accolta nella cavità cotiloidea formata dalla fusione delle tre ossa del bacino (ileo, ischio e pube) ed è orientata in fuori, in basso e in avanti. La cavità cotiloidea è contornata dal ciglio cotiloideo sul quale si attacca il labbro cotiloideo, fibrocartilagine con sezione triangolare. Ha una forma a C e si continua, a completare l'anello che circonda l'acetabolo, con il legamento trasverso. Quest'ultima è una struttura legamentosa che passa a ponte sul margine inferiore della fossa cotiloidea. Con la sua presenza contribuisce alla stabilità articolare aumentando del 22% la superficie dell'articolazione e del 33% il volume della cavità cotiloidea. È tendenzialmente più spesso anteriormente e superiormente, meno nella porzione posteriore.

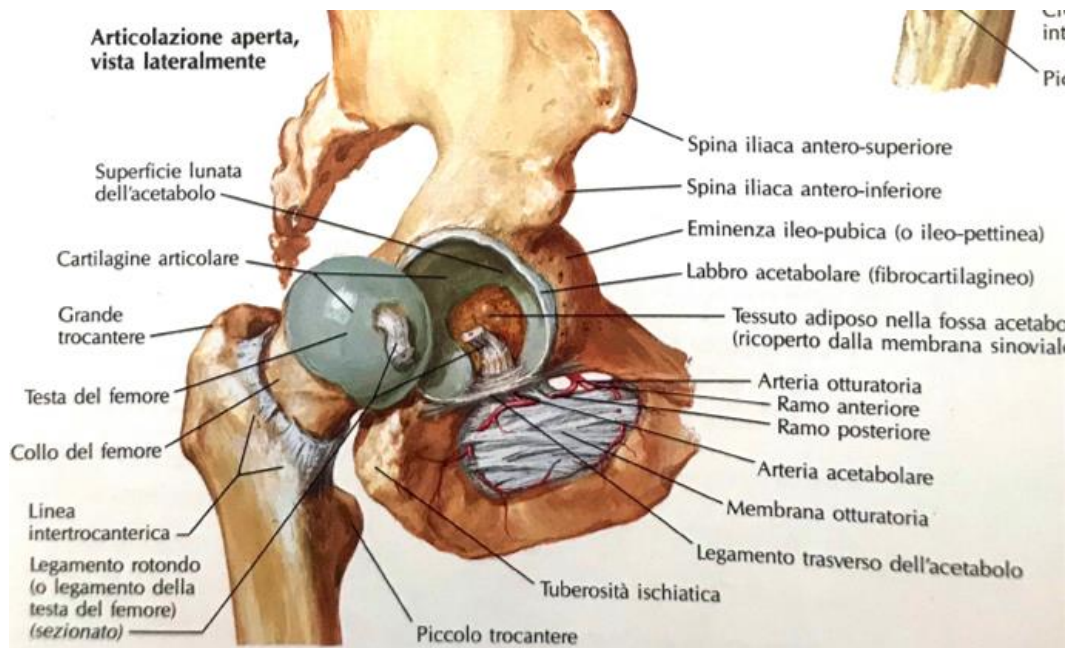


Figura 6 - Articolazione aperta, vista lateralmente (Netter, 2015).

Il labbro acetabolare è in buona parte privo di vascolarizzazione e nutrito esclusivamente dal liquido sinoviale. La porzione periferica, similmente ad altre strutture meniscali, riceve una microvascolarizzazione dalla capsula adiacente. È dotato di terminazioni libere e di corpuscoli sensitivi compatibili con la percezione del dolore in presenza di rottura e di una funzione propriocettiva. L'innervazione del labbro proviene in parte da un ramo del nervo del muscolo quadrato del femore, in parte da un ramo del nervo otturatorio. Alcuni studi hanno evidenziato una maggiore resistenza meccanica del labbro nel sesso maschile rispetto a quello femminile (Ishiko, Naito, & Moriyama, 2005). Altri studi hanno mostrato come il labbro abbia il ruolo di mantenere un sottile film di liquido sinoviale tra la testa femorale e la cavità cotiloidea sotto carico e di conseguenza una funzione protettiva soprattutto negli impatti traumatici (Ferguson, Bryant, Ganz, & Ito, 2003).

Perifericamente alla testa e al collo femorale si trova la capsula articolare anche denominata legamento capsulare, che insieme al legamento rotondo compone i due mezzi di unione tra il femore e la coxa. La denominazione di legamento capsulare deriva dal fatto che la stessa è rinforzata esternamente da una serie di fascicoli chiamati classicamente come legamenti di rinforzo della capsula. La capsula articolare ha una forma di manicotto inserendosi prossimalmente attorno

all'acetabolo (a livello del bordo acetabolare, margine esterno del labrum acetabolare e legamento trasverso dell'acetabolo) e distalmente attorno al collo del femore. Due classi di fibre compongono la capsula articolare: longitudinali e anulari o circolari. Le fibre longitudinali, situate superficialmente, adottano una direzione in senso superiore e inferiore incrociandosi nel loro tragitto con quelle anulari o circolari e confondendosi con i legamenti di rinforzo. Le fibre anulari, invece, occupano il piano profondo della capsula, hanno una direzione perpendicolare all'asse del collo femorale e sono visibili soprattutto nella parte posteriore e inferiore dell'articolazione.

Ci sono tre legamenti di rinforzo da ricordare principalmente: legamento ileo-femorale, legamento ischio-femorale e legamento pubo-femorale. Il legamento ileo-femorale, chiamato anche legamento a Y di Bigelow, nasce tra la spina iliaca antero-inferiore (sotto il tendine diretto del muscolo retto femorale) ed il bordo acetabolare. Durante il suo tragitto le fibre si aprono a ventaglio formando due fascicoli, superiore e inferiore, i quali si inseriscono nella linea intertrocanterica. La funzione del legamento ileo-femorale è quella di limitare l'estensione d'anca, permettendo di mantenere la stazione eretta senza un'azione muscolare attiva. È il più resistente dei legamenti di rinforzo della capsula. Il legamento ischio-femorale nasce dal bordo ischiatico dell'acetabolo e si inserisce nel margine posteriore del collo femorale. La sua funzione principale è quella di limitare la rotazione interna, ma limita anche il movimento di adduzione ad anca flessa. Il legamento pubo-femorale origina dalla rima acetabolare anteriore e superiore, dal ramo pubico superiore e dalla membrana otturatoria, segue il decorso del legamento ileo-femorale inferiore e si inserisce nella fossa pre-trocanterica. La sua funzione è quella di limitare l'abduzione e l'estensione dell'anca.

Il femore prossimale è costituito da un'architettura interna composta da lamelle di osso spongioso ben definita per assorbire il carico. Le lamelle di osso spongioso sono orientate secondo due sistemi di trabecole che corrispondono a linee di forza meccaniche: - un sistema principale, formato da due fasci di lamelle che si irradiano verso il collo e la testa. Il primo origina dalla corticale esterna della diafisi e termina sulla parte inferiore della corticale cefalica, fascio arciforme di Gallois e Bosquette. Il secondo si dirama dalla corticale interna della diafisi e dalla corticale inferiore del collo dirigendosi verticalmente verso la parte superiore della corticale cefalica,

fascio cefalico o ventaglio di sostegno. - un sistema accessorio, formato da due fasci che si diramano nel gran trocantere. Il primo parte dalla corticale interna della diafisi, fascio trocanterico. Il secondo, di minore importanza, è formato da fibre verticali e parallele che dalla corticale interna della diafisi si portano alla corticale esterna del gran trocantere, fascio sottocorticale.

Sull'articolazione dell'anca agiscono in totale ventidue (22) muscoli dei quali sette con funzioni anche sul ginocchio ed un muscolo ileo-psoas, sul rachide lombare. Tutti i muscoli hanno almeno un'origine sul bacino, salvo i sette che hanno funzioni anche sul ginocchio e tutti si inseriscono sul femore. L'apparato muscolare è particolarmente sviluppato poiché non è deputato solo ai movimenti dell'arto inferiore, ma anche dal mantenimento della stazione eretta. Dividiamo i muscoli ad azione sull'articolazione dell'anca in:

- Anteriori: sono il muscolo ileo-psoas, il muscolo retto femorale, il muscolo sartorio ed il muscolo pettineo;
- Mediali: sono il muscolo adduttore grande, adduttore lungo, adduttore breve ed il muscolo gracile;
- Posteriori: divisi in superficiali e profondi: fra i superficiali troviamo il muscolo grande, medio, piccolo gluteo, il muscolo tensore della fascia lata, il muscolo bicipite femorale, il muscolo semitendinoso ed il muscolo semimembranoso – i muscoli posteriori più profondi sono rappresentati dal muscolo piriforme, dai muscoli otturatore interni ed esterni, dal muscolo gemello superiore ed inferiore, dal muscolo quadrato del femore.

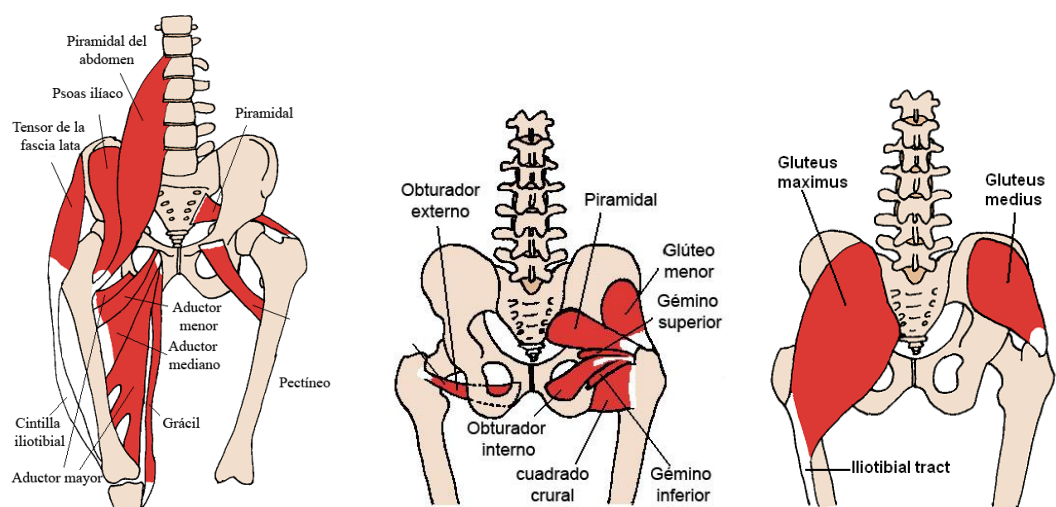


Figura 7 - Principali muscoli dell'anca (Beth, 2008).

Ginocchio

Il ginocchio è un'articolazione complessa e delicata che svolge una funzione fondamentale nella deambulazione, consente di fare movimenti essenziali per il nostro corpo e garantisce la stabilità degli arti inferiori. Conoscere l'anatomia del ginocchio ci aiuta a prevenire problemi e patologie di quest'articolazione.

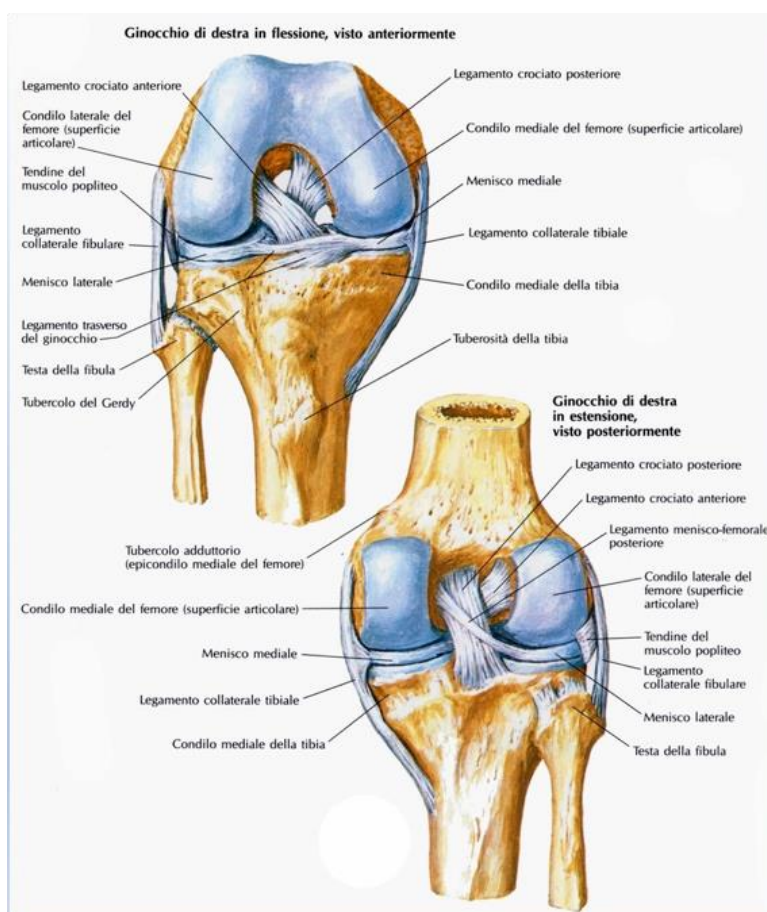


Figura 8 – Ginocchio: legamenti crociati e collaterali (Netter, 2015).

Il ginocchio mette in relazione tre ossa fondamentali degli arti inferiori: femore, tibia e rotula. Il femore è l'osso della coscia, il più lungo del corpo umano e la tibia è un osso che si trova nel polpaccio (Federici, 2010). La rotula è l'osso sesamoide più grande del corpo umano. In realtà il ginocchio comprende due distinti sistemi articolari:

- l'articolazione femoro-rotulea: unisce il femore e la rotula. Quest'articolazione si trova nella parte anteriore del ginocchio. Durante i movimenti di flessione e di estensione la rotula "scorre" su un "binario" non molto profondo chiamato

troclea presente sulla superficie del femore. Quest'articolazione, rispetto alle altre del corpo umano, è instabile e sostenuta da muscoli e tendini;

- L'articolazione femoro-tibiale: mette in relazione femore e tibia attraverso un complesso sistema di legamenti e cuscinetti.

Nell'articolazione femoro-tibiale, per diminuire l'attrito tra i capi articolari delle due ossa, entrano in gioco diversi elementi: i menischi, due speciali cuscinetti cartilaginei, uno a forma di mezza luna (menisco mediale) e una a forma di cerchio quasi completo (menisco laterale). I menischi hanno il compito di ammortizzare e di armonizzare le superfici articolari; la cartilagine riveste i capi articolari e svolge un ruolo fondamentale di cuscinetto ammortizzatore evitando l'attrito diretto tra le ossa. La cartilagine si può deformare, comprimere ed estendere; il liquido sinoviale è un lubrificante sprigionato dalla membrana sinoviale. Tale membrana delimita la cavità articolare, riveste l'intera capsula articolare, le porzioni ossee entro la cavità e termina lungo il contorno delle cartilagini.

L'articolazione femoro-tibiale è sorretta da quattro legamenti (due crociati e due collaterali) che hanno il compito di tenere l'articolazione in sede e permettono di fare determinati movimenti. I legamenti crociati permettono i movimenti di flessione e di estensione. Questi legamenti si incrociano al centro dell'articolazione ed ognuno ha una particolare funzione di sostegno: il legamento crociato anteriore ha il compito di evitare lo spostamento anteriore della tibia rispetto al femore; il legamento crociato posteriore ha il compito di impedire la traslazione posteriore della tibia; i legamenti collaterali, mediale e laterale, hanno un compito fondamentale perché limitano i movimenti trasversali ed il movimento di rotazione.

Il ginocchio ha una struttura complessa e per questo è spesso soggetto ad infiammazioni, fastidi, o dolori (gonalgia) che possono manifestarsi anche quando solo una delle parti sopracitate presenta un problema. I principali fattori che mettono a rischio il buon funzionamento di quest'articolazione sono lo stress eccessivo causato da troppo carico (es. obesità) o da un'attività fisica troppo intensa. In caso di gonalgia persistente è consigliabile sottoporsi ad una visita specialistica che sarà in grado di individuare la parte del ginocchio compromessa e fornire un trattamento adeguato (Calvisi, 2016).

Quanto sostenuto sopra ci permette di comprendere quanto il ginocchio sia un'articolazione grande e complessa. Posizionata a circa metà della gamba, nel punto di raccordo tra coscia e polpaccio, è chiamata a sostenere il peso di quasi tutto il corpo e a sopportare forti sollecitazioni durante tutta la vita. Camminare, correre, sedersi e alzarsi, calciare, sono tutte azioni che chiamano in causa il ginocchio. Non a caso, le patologie che colpiscono il ginocchio sono molto diffuse, a qualsiasi età, sia negli uomini che nelle donne. Si tratta di malattie che possono presentare manifestazioni dolorose molto forti e avere conseguenze invalidanti. Peraltro, alcuni di questi disturbi sono associati alla pratica di attività sportive che possono dar luogo a sforzi eccessivi o al verificarsi di traumi. Le principali sono: Sinovite del ginocchio, Osteocondrosi, Osteocondrite, Sindrome della bandelletta ileo-tibiale, Tendinite rotulea, Lesione della rotula, Lesione dei menischi, Fratture ossee e Borsite. A seconda della tipologia e della gravità della malattia al ginocchio, la cura può essere di tipo farmacologico, fisioterapico o chirurgico (eventualmente in artroscopia). L'ipotesi ultima è l'impianto di una protesi di ginocchio.

In particolare, l'osteoartrosi del ginocchio (OA), nota anche come malattia degenerativa delle articolazioni del ginocchio, è tipicamente il risultato dell'usura e della progressiva perdita della cartilagine articolare. È più comune negli anziani. L'artrosi del ginocchio può essere divisa in due tipologie, primaria e secondaria. L'osteoartrosi primaria è una degenerazione articolare senza alcuna ragione apparente. L'osteoartrosi secondaria è la conseguenza di un'anormale concentrazione di forza attraverso l'articolazione come nel caso di cause post-traumatiche o di una cartilagine articolare anomala, come l'artrite reumatoide (RA). L'artrosi è in genere una malattia progressiva che può eventualmente portare alla disabilità. L'intensità dei sintomi clinici può variare da individuo a individuo. Tuttavia, in genere diventano più gravi, più frequenti e più debilitanti nel tempo. Anche il tasso di progressione varia da individuo a individuo. I sintomi clinici comuni includono dolore al ginocchio che si manifesta gradualmente e peggiora con l'attività, rigidità e gonfiore del ginocchio, dolore dopo una seduta o un riposo prolungati e dolore che peggiora nel tempo. Il trattamento per l'artrosi del ginocchio inizia con metodi conservativi e progredisce verso opzioni di trattamento chirurgico quando il trattamento conservativo fallisce. Sebbene i farmaci possano aiutare a rallentare la progressione dell'artrite reumatoide e di altre condizioni

infiammatorie, attualmente non esistono agenti modificanti la malattia provati per il trattamento dell'osteoartrite del ginocchio (Hsu & Siwiec, 2023).

Caviglia

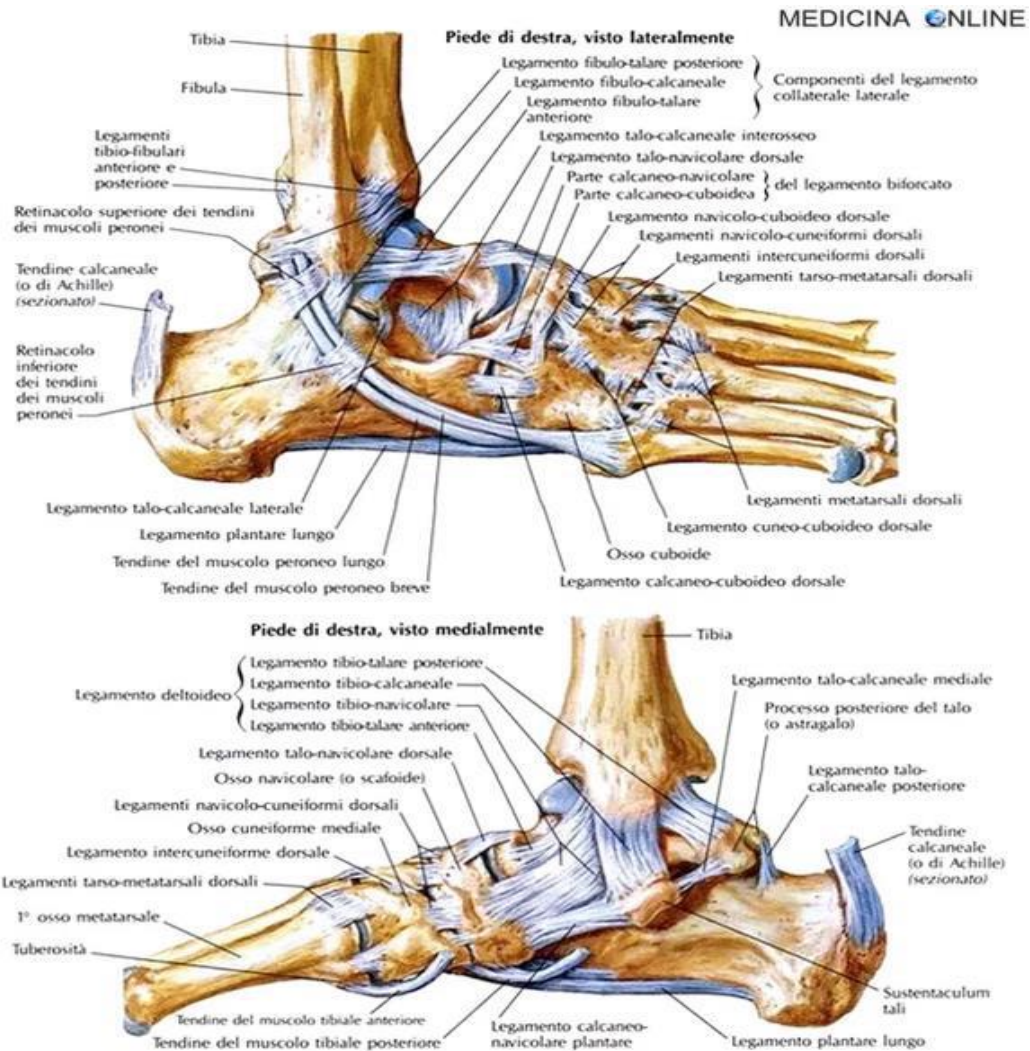


Figura 9 – Legamenti e tendini della caviglia (Netter, 2015).

L'articolazione della caviglia è un'articolazione sinoviale incernierata formata dall'articolazione delle ossa dell'astragalo, della tibia e del perone. La faccetta articolare del malleolo laterale (prominenza ossea sul perone inferiore) forma il bordo laterale dell'articolazione della caviglia mentre la faccetta articolare del malleolo mediale (prominenza ossea sulla tibia inferiore) forma il bordo mediale dell'articolazione. La porzione superiore dell'articolazione della caviglia si forma dalla superficie articolare inferiore della tibia e dal margine superiore dell'astragalo. Insieme, questi tre bordi formano la mortasa della caviglia. L'astragalo si articola

inferiormente con il calcagno e anteriormente con lo scafoide. La superficie superiore, chiamata superficie trocleare, è alquanto cilindrica e consente la dorsiflessione e la flessione plantare della caviglia. L'astragalo è più largo anteriormente e più stretto posteriormente. Forma un cuneo che si inserisce tra i malleoli mediale e laterale rendendo la dorsiflessione la posizione più stabile per la caviglia (Manganaro & Alsayouri, 2023).

Tibia e perone (o fibula) sono le ossa che costituiscono il terzo distale della parte inferiore della gamba mentre l'astragalo appartiene alle ossa del tarso del piede. L'articolazione della caviglia viene definita articolazione talo-crutale o tibio-tarsica. Grazie a questa articolazione il piede è in grado di effettuare i movimenti di flessione plantare, estensione dorsale, eversione e inversione. L'articolazione tibio-tarsica permette all'essere umano di eseguire l'atto della deambulazione e di far camminare le persone in modo corretto e funzionale. Una sua alterata funzione biomeccanica può portare a un difetto nel cammino con conseguente ripercussione ai distretti corporei superiori e alterare la postura del soggetto in statica eretta in appoggio bi-podalico o in appoggio mono-podalico.

La caviglia è una articolazione resa stabile dalla presenza di un complesso capsulo-legamentoso composto da fibre di tessuto connettivo fibroso. Queste fibre mantengono unito il complesso articolare formato dalla tibia e dal perone, dall'astragalo, dal calcagno e dallo scafoide del tarso (osso navicolare) e tengono unite le ossa del tarso del piede alla gamba. La loro funzione è quella di garantire la stabilità meccanica articolare durante il movimento. Essendo però ricchi di propriocettori hanno anche un importante ruolo propriocettivo, ovvero di assicurare la percezione della posizione, dei cambi di direzione della caviglia e della corretta postura corporea in rapporto all'ambiente circostante. Per questo motivo, una lesione dei legamenti della caviglia può portare a un importante disequilibrio posturale che si potrebbe ripercuotere sulla qualità della vita normale di una persona o sulla performance sportiva di un atleta.

Mentre molti autori considerano l'articolazione tibiotarsale come una semplice articolazione a cerniera. Altri suggeriscono che sia multiassiale, a causa della rotazione interna che si verifica durante la dorsiflessione e della rotazione esterna che si verifica nella flessione plantare. Tuttavia, ci sono prove che suggeriscono che

l'articolazione tibiotalare sia effettivamente uniassiale, ma il movimento simultaneo osservato si verifica a seguito del suo asse obliquo. L'asse di rotazione del complesso dell'articolazione della caviglia nel piano sagittale si verifica intorno alla linea che passa attraverso i malleoli mediali e laterali (linea tratteggiata). L'asse di rotazione del piano coronale si verifica attorno al punto di intersezione tra i malleoli e l'asse lungo della tibia nel piano frontale. L'asse di rotazione del piano trasversale si verifica attorno all'asse lungo della tibia che interseca la linea mediana del piede.

Il complesso dell'articolazione della caviglia è costituito dall'articolazione talocalcaneale (subtalare), tibio-talare (talocrurale) e trasverso-tarsale (talocalcaneonavicolare). La complessità dell'anatomia della caviglia ha un'influenza significativa sulle prestazioni biomeccaniche dell'articolazione.

La maggior parte del movimento all'interno del piede e della caviglia è prodotta dai dodici muscoli estrinseci, che hanno origine nella gamba e si inseriscono nel piede. Questi muscoli sono contenuti in quattro scomparti:

- Il compartimento anteriore è costituito da quattro muscoli: il tibiale anteriore, l'estensore digitorum longus, l'estensore allucis longus e il peroneo terzo. Il tibiale anteriore e l'estensore allucis lungo producono dorsiflessione e inversione del piede. Il peroneo terzo produce dorsiflessione ed eversione del piede. L'estensore digitorum longus produce solo dorsiflessione del piede.
- Il compartimento laterale è composto da due muscoli: il peroneo lungo e il peroneo brevis, che producono flessione plantare ed eversione del piede.
- Il compartimento posteriore è composto da tre muscoli: il gastrocnemio, il soleo e il plantare, che contribuiscono alla flessione plantare del piede.
- Il compartimento posteriore profondo è composto da tre muscoli: il tibiale posteriore, il flessore digitorum longus e il flessore allucis longus, che producono flessione plantare e inversione del piede.

I principali legamenti della caviglia si suddividono in legamenti mediali e legamenti laterali.

I legamenti mediali (legamento deltoideo) hanno origine dal malleolo tibiale; vengono anche chiamati legamenti "deltoidi" e sono posizionati mediamente sul

lato interno della caviglia a formare il cosiddetto legamento deltoideo. Le loro principali funzioni sono: dare stabilità alla caviglia durante i movimenti; guidano e limitano i nostri movimenti; protezione e prevenzione. In caso di distorsioni o di traumi capsulo- legamentosi, questi impediscono che le sollecitazioni o i movimenti rapidi multidirezionali creino eccessivi danni all'articolazione; propriocettiva. Il sistema sensoriale presente nei legamenti comunica costantemente con il sistema nervoso centrale (SNC) informandolo sullo stato di salute funzionale e posturale del piede e dell'intero apparato muscolo scheletrico.

I Legamenti laterali si trovano sulla porzione esterna di caviglia e si inseriscono a partire dal malleolo peroneale e formano: il legamento peroneo astragalico anteriore (P.A.A.), il legamento peroneo astragalico posteriore e il legamento peroneo-calcaneare (P.C.).

Ricapitolando, nel dettaglio, la caviglia è, dunque, stabilizzata da forti legamenti collaterali medialmente e lateralmente. Il principale legamento stabilizzante medialmente è il legamento deltoideo, e lateralmente la caviglia ha la stabilizzazione di tre legamenti separati, i legamenti taloperoneale anteriore e posteriore e il legamento peroneo calcaneare. I legamenti peroneo-astragalico anteriore e posteriore collegano l'astragalo al perone, mentre il legamento peroneo calcaneo collega inferiormente il perone al calcagno. Il legamento peroneoastragalico anteriore (ATFL) è il più debole dei tre legamenti laterali e quindi quello più frequentemente lesionato. Il legamento deltoideo è in realtà costituito da quattro legamenti che formano un triangolo che collega la tibia allo scafoide, al calcagno e all'astragalo. I legamenti tibioastragalico anteriore e posteriore collegano la tibia all'astragalo. Gli ultimi due legamenti del triangolo sono il legamento tibionavicolare che si attacca anteriormente allo scafoide e il legamento tibioalcaneare che si attacca inferiormente al calcagno (Manganaro & Alsayouri, 2023).

Modello di Koch

Modello di Koch è stato il primo a introdurre il modello statico biomeccanico dell'anca. Secondo la sua teoria tra il braccio di leva del corpo e il braccio di leva dei muscoli abduttori ce un rapporto di 2:1. Ciò significa che in appoggio mono-

podalico il medio gluteo deve generare due volte la forza peso per mantenere l'equilibrio ed impedire che il corpo si inclini verso il lato non supportato. In questo modello il muscolo medio gluteo è l'unico muscolo che si oppone alla resistenza ai carichi esercitati sul femore. Koch ha proposto che il medio gluteo trasforma questi carichi, in carichi di trazione sulla faccia laterale del femore sotto l'attacco del medio gluteo e i carichi in compressione sulla faccia laterale del terzo distale del femore. Tuttavia, si è notato che la dichiarazione originale di Koch non spiegava bene come il carico di trazione fosse convertito in carico di compressione nella parte distale del femore.

In appoggio mono-podalico si verifica quanto segue: il centro di gravità si sposta distalmente e si allontana dalla gamba in appoggio; la gamba non portante diventa parte della massa corporea che agisce sull'anca portante; la forza verso il basso esercita un movimento rotatorio intorno al centro della testa del femore; gli abduttori comprendono le fibre superiori di grande gluteo, il tensore della fascia lata e il piccolo e medio gluteo invece il piriforme e l'otturatore interno, controbilanciano l'azione dei muscoli resistendo alla rotazione della testa del femore, in questo modo si crea un momento. intorno alla testa del femore; la leva degli adduttori è più corta del braccio di leva del peso corporeo. Pertanto, la forza combinata degli abduttori deve essere multipla rispetto al peso corporeo il che corrisponde a un rapporto di leva di 2,5.

Per le persone con un bacino largo e un collo del femore corto sono necessarie forze d'anca maggiori. Queste persone hanno un rapporto di braccio di leva maggiore, quindi, richiedono un aumento della forza dei muscoli adduttori. Queste persone sono soggette ad essere ad alto rischio di patologie dell'anca comprese le condizioni di artrite. Tuttavia, uno studio di Warrener ha rilevato la larghezza del bacino non predice la meccanica degli abduttori dell'anca o del dispendio della locomozione né delle donne neanche degli uomini. Gli esempi di posture che indicano un aumento del braccio di leva ed una diminuzione della forza di abduzione dell'anca: in posizione supina le gambe cadono, in posizione seduta con le gambe incrociate, il grande addome del paziente forza le anche in abduzione e rotazione esterna con le ginocchia che sbucano fuori.

Modello dinamico della biomeccanica dell'anca

Secondo Koch per mantenere la stabilità dell'anca in appoggio mono-podalico, il medio gluteo deve generare due volte la forza del peso corporeo. Tuttavia, sulla base dei dati differenti relativi la dinamica dell'anca e di un modello completo di stabilità si è concluso che la bandelletta ileo-tibiale svolge un ruolo significativo nel mantenimento della stabilità dell'anca, le seguenti osservazioni supportano questa teoria: il medio gluteo è meno attivo nella fase intermedia di appoggio del passo; la bandelletta ileo-tibiale funge da banda di tensione per alleviare la domanda metabolica e ridurre l'attività elettrica del medio-gluteo durante la fase intermedia di appoggio del passo.

Le articolazioni sono cardini privi di attrito, le ossa sono aste rigide e i muscoli agiscono lungo l'asse centrale in tensione. Nella posizione mono-podale a gamba singola, si presume che la gamba sia un sesto del peso corporeo. Quindi la forza che attraversa il corpo è $5/6$ quindi in qualcuno che pesa 60 chili ciò equivale a 550 chili o 500 Newton.

Il braccio del momento della forza è la distanza perpendicolare del centro di rotazione. Come si può definire il momento della forza? Il momento di una forza è una grandezza della dinamica rotazionale ed è equivalente rotazionale al concetto di forza. Per definizione è dato dal prodotto vettoriale tra il braccio della forza e la forza stessa $M = r \times F$. Ciò fornisce un momento in senso orario, per controbilanciare questo, ce un momento in senso antiorario fornito dai muscoli abduttori. Questa è una forza sconosciuta, quindi la chiamiamo forza degli ab-duttori F_{ab} e il braccio del momento è ancora una volta la distanza perpendicolare dal centro di rotazione, che in questa direzione è 5 cm. Quindi per calcolare la forza degli abduttori moltiplicata per il braccio del momento è uguale al peso corporeo per il braccio del momento. ($F_{ab} \times 5 = 500 \times 15$)---($F_{ab} (500 \times 15) / 5 = 1500$ newton).

Quindi puoi usare $F_{ab} 1500$ N per calcolare la forza di reazione congiunta di F_{ab} e la forza del peso. Quindi la forza di reazione disegnata è la forza che agisce attraverso l'articolazione e puoi calcolarla risolvendo la somma dei due vettori F_{ab} più il peso corporeo; quindi, i due vettori hanno entrambi una direzione con lo stesso verso della forza; quindi, sappiamo che il peso corporeo è 500. Questo è il peso corporeo e i tempi sono il momento, la somma ottenuta puoi usarla per calcolare la forza di reazione congiunta. Quindi la forza di reazione è la forza che agisce

attraverso l'articolazione. Risolvendo la somma dei due vettori, calcoliamo una forza che ha la direzione del vettore somma, ma con verso dalla direzione opposta. Così conosciamo il peso corporeo è 500, se disegniamo su larga scala. Normalmente andrebbe in questa direzione, ma sappiamo che la forza di reazione congiunta è nella direzione opposta, quindi possiamo usarlo. Dimensione del vettore che rappresenta la lunghezza. che cose la ricerca per la similarità vettoriale.

La formula del braccio del momento di una forza:

F (abducenti) * leva del braccio della forza degli abducenti = peso del corpo * la leva del braccio del peso del corpo. Momento di forza = $F * D$

Dove F è la forza applicata, D è la distanza dall'asse fisso. Il momento della forza è espresso in newton. La formula del momento di forza può essere applicata per calcolare il momento di forza per forze bilanciate e sbilanciate.

La componente femorale

L'offset femorale è la distanza perpendicolare dal centro di rotazione della testa del femore all'asse lungo del femore. Questa figura bidimensionale nella misurazione radiografica di una struttura 3D varia a seconda della rotazione dell'anca e quindi richiede raggi x da eseguire a 15 -20 gradi di rotazione interna dell'anca per esporre l'intera lunghezza del collo del femore nelle proiezioni antero-posteriori, il valore medio è di 44 millimetri e aumenta sia con la dimensione femorale che con la diminuzione con l'angolo cervico-diafisario. Anca vara, angolo cervico-diafisario di 115 gradi; anca tipica dei caucasici, angolo cervico-diafisario di 142 gradi; anca valga angolo cervico diafisario di 142 gradi.

La diminuzione dell'offset funzionale è stato dimostrato che aumenta la forza di reazione dell'articolazione dell'anca, se l'antiversione femorale sull'offset femorale si riduce e le forze di reazione dell'articolazione dell'anca. Il vantaggio teorico di un ampio offset femorale si traduce in un'usura diminuita di protilene. L'impatto dell'antiversione del femore sull'offset funzionale, se l'antiversione del femore aumenta, l'offset femorale si riduce e le reazioni dell'anca aumentano: 35 di antiversione femorale; 10 di antiversione fisiologica del femore; 10 di retroversione.

1.4 Le catene miofasciali

Le catene miofasciali possono essere considerate un “Continuum tridimensionale di tessuti connettivi che permeano il corpo, consentendo a tutti i sistemi corporei di operare in modo integrato”. Prima di conoscere le catene miofasciali, gli antichi anatomisti, hanno sempre descritto il sottocute come una struttura formata da uno strato adiposo e uno carnoso. Al di sotto di questi, vi era la “*membrana muscolorum communis*”. Questa è la struttura legata ai muscoli. Solo verso la fine del diciannovesimo secolo, Camper, Colles e Scarpa, studiando la formazione di ernie inguinali, dimostrarono la presenza di uno strato fibroso nell’ipoderma che definirono “fascia”.

Nel 2006 in seguito alla dissezione di alcuni cadaveri in laboratorio, Thomas Myers ha dimostrato l’esistenza delle connessioni, o catene miofasciali, riuscendo a sezionare e isolare la rete fasciale e connettivale dai tessuti molli circostanti. Secondo Myers la muscolatura non è un singolo apparato articolare, ma un’unione di fasce estese longitudinalmente in tutto il corpo che operano sinergicamente definendo postura e movimenti. Una definizione più recente, del 2019, descrive la fascia come un tessuto che contiene caratteristiche in grado di rispondere a stimoli meccanici, di supportare, dividere, penetrare, nutrire e collegare tutte le regioni del corpo. Le catene miofasciali forniscono inoltre un ambiente che consente a tutti i sistemi del corpo di svolgere importanti funzioni architettoniche e strutturali, neurologiche, di trasmissione della forza biomeccanica, morfogenesi cellulare e trasmissione del segnale”.

La fascia è universalmente considerata tessuto connettivo ricco di fibroblasti e le sue fibre di collagene presentano proprietà fisiche (elasticità, assorbimento, quantità) differenti nelle diverse direzioni. L’acqua è la componente essenziale per le fibre di collagene, svolgendo funzioni di trasporto di elementi nutritivi e favorendo reazioni bio-chimiche. Essa unita all’acido ialuronico, permette alle fibre di allungarsi ed accorciarsi. Se questa sostanza passa dalla forma liquida (SOL) a quella densa (GEL), lo scorrimento interfibrillare viene compromesso, modificando la sua viscoelasticità e generando dolore.

Le catene miofasciali le distinguiamo in superficiali e profonde. Mentre la prima viene intesa come uno strato fibroso che conferisce integrità alla cute e supporto alle strutture sottocutanee permettendone il normale scivolamento, la fascia profonda si riferisce agli strati densi e fibrosi che interagiscono con il sistema muscolare. La stretta integrazione delle catene miofasciali del nostro organismo va sempre tenuta presente. I muscoli che operano all'interno della rete fasciale seguono la trama del tessuto connettivo e formano linee tracciabili nella miofascia. La loro elasticità dipende da quella dei muscoli vicini ed è influenzata da due fattori: uno strutturale-fisico-fasciale legato alle fibre, e uno nervoso (reclutamento, sincronizzazione, coordinazione). I modelli proposti fin qui, prevedono che ogni abitudine posturale, sforzo, tensione, compensazione, oltre alla maggior parte dei movimenti, siano distribuiti lungo delle linee fasciali. Inoltre, eventi particolarmente stressanti in una regione, possono provocare una reazione a distanza.

Le catene miofasciali hanno il compito di collegare i muscoli attraverso sequenze neuro motorie permettendo movimenti globali. Inoltre, hanno il compito di informare costantemente il sistema nervoso riguardo all'orientamento dei segmenti corporei nello spazio, in termini di direzione e velocità. Ciò avviene grazie ad un sistema di stiramento-accorciamento. Il primo ad individuare le interazioni delle varie parti del corpo umano come una globalità, fu Mezieres, seguito poi da Busquet, da tutta la scuola tedesca e di Padova. È stato però Myers, nei primi anni duemila, ad individuare concatenazioni, definite linee, per il mantenimento della postura. Infatti, vi sono due connessioni miofasciali, che Myers chiama linee funzionali, per le gestualità sportive, e una profonda frontale, collegata alla respirazione diaframmatica.

Le catene miofasciali sono: Linea superficiale posteriore; Linea superficiale frontale; Linea laterale; Linea spirale; Linea profonda frontale; Linea del braccio. In questo elaborato, relativo all'esperienza sperimentale descritta in seguito, verranno approfondite la Linea laterale, la Linea profonda frontale, la Linea spirale e la catena linguale (o anteriore).

Linea laterale (LL)

Un'altra catena che influenza postura e movimento sul piano frontale è la Linea laterale (Figura 10), che attraversa ciascun lato del corpo, partendo dal punto mediale e laterale della metà del piede, passando intorno e all'esterno della caviglia, salendo per il tratto laterale della gamba e della coscia, intrecciandosi lungo il tronco, fino ad arrivare al cranio, nella regione dell'orecchio. La funzione di queste due catene simmetriche poste ai lati del corpo è di bilanciare i movimenti laterali e creare un equilibrio tra le catene anteriore e posteriore. Se si contraggono contemporaneamente svolgono le funzioni della sequenza posteriore.



Figura 10 – Linea laterale

La LL partecipa nella creazione di una curva laterale del corpo, flessione laterale del tronco, abduzione ai fianchi e eversione del piede, ma funge anche da freno regolabile per i movimenti laterali e le rotazionali del tronco. Quando siamo fermi in piedi in appoggio sulle due gambe la sua attivazione è simmetrica e prevalente su quelle anteriore e posteriore che intervengono per il controllo fine dell'equilibrio. In appoggio su una sola gamba avremo l'attivazione combinata di entrambe le sequenze laterali in associazione a quella mediale che si organizzano tra loro per controbilanciare gli squilibri generati. È una sequenza che si trova molto frequentemente sovraccaricata quando deve intervenire per compensare debolezze

o ipertonie delle altre catene: il suo intervento infatti "pianta" il corpo a terra ma origina anche forti sovraccarichi a livello delle articolazioni di ginocchia, anche, regione lombare e cingolo scapolare. Sono inoltre in stretta sinergia con la catena posteriore.

Linea profonda frontale (LFP)

Si trova interposta tra le catene miofasciali delle Linee Laterali, la Linea Superficiale Frontale e la Linea Superficiale Posteriore. Inoltre, è circondata dall'elica delle Linee a Spirale. La LFP (Figura 11 e Figura 12) ha inizio nella pianta del piede, decorre posteriormente a tibia e perone, dietro l'articolazione del ginocchio e lungo il margine mediale della coscia dove prosegue verso l'alto seguendo il decorso dei muscoli adduttori, psoas, iliaco, pettineo e quadrato dei lombi. Lo psoas e il quadrato dei lombi si connettono direttamente al diaframma, che intimamente legato al pericardio mediante il tendine centrale. Dal pericardio, infine, la fascia prosegue verso l'alto connettendosi a laringe e faringe fino ai muscoli masticatori e della lingua.

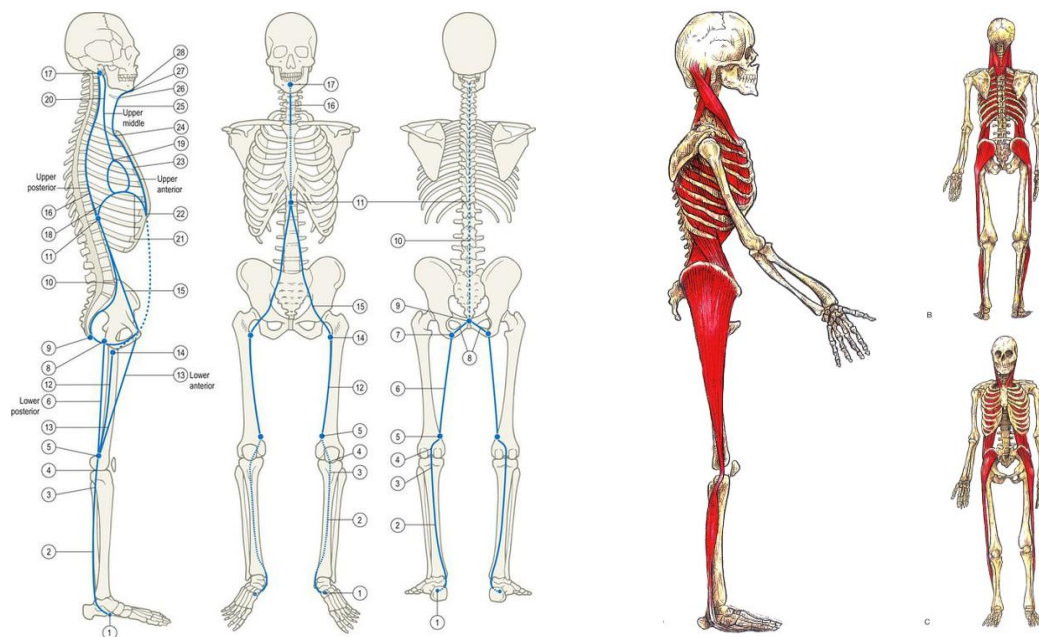


Figura 11 - Linea profonda frontale (LFP)

Confrontata con le altre linee questa comporta una definizione in uno spazio tridimensionale piuttosto che su una semplice linea. Nella gamba la LFP include molti dei più profondi e più nascosti muscoli di supporto della nostra anatomia,

sebbene la linea stessa sia di natura fondamentale fasciale. Attraverso le pelvi la LFP ha una relazione intima con l'articolazione dell'anca, e mette in relazione l'uno con l'altro il pulsare del respiro e il ritmo del camminare. Nel tronco LFP è adagiata lungo i gangli del sistema nervoso autonomo, tra il nostro telaio neuromotori e più antichi organi di supporto cellulare all'interno della cavità ventrale. Nel collo fornisce la spinta controbilanciata alla trazione sia della FS che della LPS. Una comprensione dimensionale della LFP è necessaria per applicarla con successo a quasi tutti i metodi di terapia manuale o di movimento.

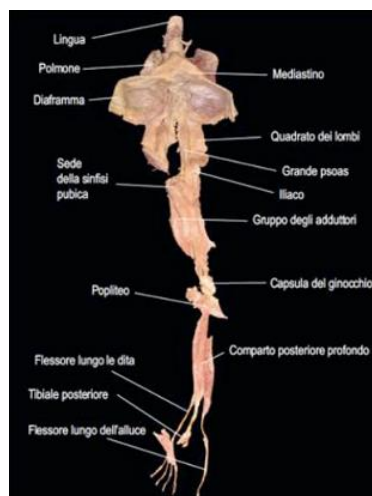


Figura 12 – Primo tentativo di dissezione della Linea Profonda Laterale mostra la connessione continua di tessuto dalle dita del piede alla lingua, passando per lo psoas (Myers, 2022).

La LFP gioca un ruolo principale nel mantenimento della postura sollevando l'arco interno, stabilizzando ciascun segmento delle gambe, supportando la colonna lombare anteriormente, stabilizzando il petto e permettendo l'espansione e il rilassamento durante la respirazione e supportando la stabilizzazione del cranio; quest'ultima rappresenta una funzione primaria, poiché eventuali traumi a livello cervicale compromettono la salute e quindi la sopravvivenza dell'individuo. La stabilità della testa viene minacciata, in primis, dall'accelerazione positiva e in maniera minore, dall'accelerazione negativa alle quali il capo è soggetto. I muscoli del capo e del collo che contrastano l'accelerazione positiva sono quelli facenti parte dell'asse miofasciale anteriore, e in via accessoria gli SCOM (sternocleidomastoidei), i paravertebrali, il trapezio, ecc.

L'asse miofasciale anteriore, inoltre, comprende i muscoli coinvolti nell'occlusione dentale, e fa parte della LFP. Alla base della teoria delle catene miofasciali vi è il

fatto che la perturbazione di un segmento della catena si ripercuote in maniera discendente e/o ascendente sugli altri segmenti della catena stessa. Quando siamo in presenza di un alterato rapporto tra la mandibola e il mascellare superiore (malocclusione), questo squilibrio si ripercuote su tutto l'asse miofasciale anteriore e quindi su tutta la linea profonda frontale.

La disfunzione di un segmento corporeo, che spesso è accompagnata da fenomeni algici, rappresenta in sostanza una perdita di comfort: il sistema posturale si modifica al fine di sgravare questa sgradevole sensazione algica. La perdita del comfort si traduce di conseguenza in un'alterazione delle catene miofasciali, che determina una perturbazione dell'economia e dell'equilibrio. La malocclusione, a sua volta, provoca una ripercussione destabilizzante su queste tre leggi e indebolisce l'asse anteriore, deputato, come affermato prima, alla funzione primaria di stabilizzazione della testa. Tutto ciò viene percepito dal SNC che, come reazione compensatoria, genera una diminuzione della forza muscolare e la perturbazione della postura in statica e in dinamica. La malocclusione causa, dunque, un indebolimento dell'asse miofasciale anteriore e si ripercuote in senso discendente verso altri distretti corporei.

Linea spirale

La linea spirale (Figura 13) circonda il corpo come una doppia elica. Collega attraverso la parte alta della schiena ciascun lato del cranio alla spalla opposta. Prosegue intorno alle costole e forma un incrocio all'altezza dell'ombelico arrivando fino all'anca omolaterale. Dall'anca come se fosse una "corda per saltare" la Linea a Spirale percorre la coscia e la tibia anterolaterale fino all'arco mediale longitudinale. Passa sotto il piede e ritorna su per la parte posteriore ed esterna della gamba per giungere all'ischio e alla miofascia degli erettori. Termina, infine, molto vicino a dove era partita nel cranio.

La LS funziona posturalmente per avvolgere il corpo in una doppia spirale che contribuisce a mantenere il bilanciamento tra tutti i piani. La LS connette gli archi del piede con l'angolo pelvico e aiuta a determinare il movimento del ginocchio nella deambulazione. In caso di sbilanciamento la LS contribuisce a creare, compensare e mantenere le torsioni, le rotazioni e gli spostamenti laterali nel corpo.

Molta della miofascia nella LS partecipa inoltre ad altri Meridiani Cardinali (LSP, LSF, LL) come pure alla Linea Profonda del Braccio. In questo modo viene assicurato il coinvolgimento della LS in una molteplicità di funzioni e una disfunzione influenzerà la facilità di funzionamento di queste altre linee. La funzione globale di movimento della LS è di creare e mediare spirali e rotazioni nel corpo, e di impedire che il tronco e le gambe cedano nelle contrazioni isometriche ed eccentriche.

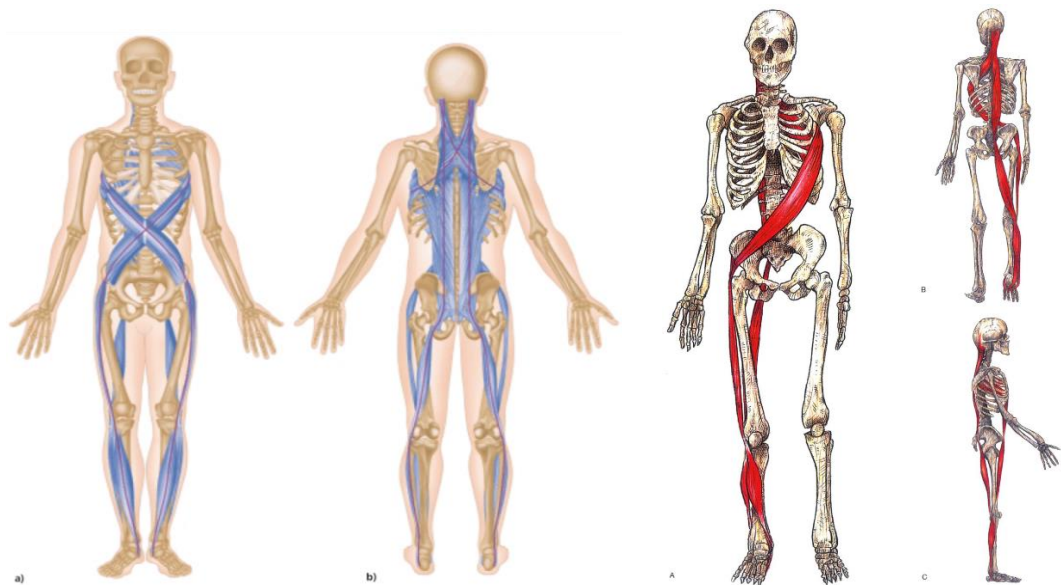


Figura 13 – Linea spirale

1.5 Apprendimento e memoria

L'unità morfo-funzionale del cervello umano sono i neuroni: questi costituiscono le principali unità di comunicazione del segnale nel sistema nervoso. Un tipico neurone ha quattro regioni morfologicamente distinte e definite: corpo cellulare, dendriti, assone e terminali presinaptici. Il corpo cellulare è il centro metabolico della cellula e contiene il nucleo dove sono presenti i geni per la loro trascrizione in proteine. Dal corpo cellulare prendono il via due diversi prolungamenti: i numerosi corti dendriti e un unico, lungo assone. I dendriti si ramificano ad albero verso l'esterno, e rappresentano l'apparato più importante per la ricezione dei segnali dagli altri neuroni. L'assone costituisce la principale unità di conduzione dei segnali elettrici, i cosiddetti potenziali d'azione, verso gli altri neuroni. In

prossimità della sua parte terminale, l'assone si divide in sottili ramificazioni che formano le strutture di comunicazione con gli altri neuroni, le sinapsi. A livello delle sinapsi riconosciamo uno spazio pre-sinaptico e uno spazio post-sinaptico, separati da uno spazio sinaptico in cui avvengono tutti i processi chimico-fisici di trasmissione del segnale (Mora, Segovia, & del Arco, 2007).

Apprendimento e memoria sono le funzioni fondamentali del cervello che permettono a un individuo di adattarsi all'ambiente che lo circonda, costruire una propria storia personale e acquisire la consapevolezza di sé (Marie, 2010). In maniera approssimativa, la memoria può essere definita come l'abilità di immagazzinare e richiamare l'informazione acquisita tramite un recettore. Essa può essere distinta in memoria a breve termine (da alcuni minuti a un'ora) e in memoria a lungo termine (da alcune ore a qualche giorno). L'apprendimento è la capacità del cervello di imparare dall'esperienza, cioè di registrare nella memoria o, meglio, nelle memorie, tutto ciò che può essere utile in futuro per le successive interazioni dell'individuo con l'ambiente. L'apprendimento può avvenire: in maniera volontaria – modalità caratterizzata dalla stimolazione delle zone corticali, attraverso l'eccitazione delle sinapsi e il conseguente rilascio di neurotrasmettitori; oppure in maniera involontaria - tramite una stimolazione ad origine sottocorticale, con innesco di automatismi che portano alla formazione di nuove sinapsi e quindi al loro aumento in termini numerici.

La maggior parte dei neuroscienziati ritiene che modificazioni nella connettività sinaptica siano alla base dell'apprendimento e che la memoria sia il consolidamento e la conservazione di questi cambiamenti nel tempo. Questa concezione ha iniziato a maturarsi a partire dal 1980, quando le intuizioni e i metodi della biologia molecolare sono stati applicati al sistema nervoso, rendendo possibile l'identificazione dei meccanismi molecolari della memoria. Sulla base di questo approccio Eric Kandel dimostrò nelle sue ricerche sulle "Basi fisiologiche della conservazione della memoria nei neuroni", che acquisiamo e tratteniamo prontamente nuove informazioni, poiché i sistemi cerebrali coinvolti nei meccanismi della memoria sono rapidamente modificabili. Con ciò, si è dunque stabilito che le connessioni del sistema nervoso non sono complete e fisse, piuttosto plastiche e deformabili. Esistono circuiti neuronali che si formano durante lo sviluppo e che contengono modelli di comportamento innati, ma vi sono anche

componenti del sistema nervoso che riescono a trasformarsi con l'apprendimento (Kandel, 2017).

La memoria a breve termine è caratterizzata solo dalla modificazione della consistenza delle sinapsi esistenti: ciò che si verifica è un mutamento esclusivamente funzionale. La capacità di questo tipo di memoria è molto limitata, e in assenza di esercizio e di ripetizioni, le informazioni acquisite vengono trattenute solo per pochi minuti. Differenti sono invece i meccanismi alla base della memoria a lungo termine, che prevedono la sintesi di nuove proteine e la formazione di nuove connessioni tra le cellule nervose. Grazie alla memoria a lungo termine, le informazioni sono immagazzinate per sempre (Fellus, 2017). Nel dettaglio, Kandel scopri che stimolazioni ripetute in tempi ravvicinati, innescavano un dialogo tra sinapsi e nucleo in grado di attivare i fattori di trascrizione cellulare: le proteine CREB (*Cyclic AMP Response Element Binding Protein*), responsabili dell'attivazione dei geni codificanti per una proteina, CPEB (*Cytoplasmic Polyadenylation Element Binding Protein*), fondamentale per la memoria a lungo termine, l'adenosina monofosfato ciclico (AMP ciclico o CAMP), un metabolita delle cellule coinvolto nei meccanismi di trasduzione del segnale all'interno delle cellule viventi, in risposta a vari stimoli.

Il CAMP interagisce con diverse proteine chinasi, in particolare è in grado di attivare la PKA (*Protein Kinase A*, anche nota come proteina chinasi cAMP-dipendente), enzima normalmente presente in forma inattiva. L'attivazione della proteina chinasi A porta all'attivazione dei fattori di trascrizione cellulare, le proteine CREB, che legandosi ad alcune sequenze di DNA aumentano o diminuiscono la trascrizione di geni a valle, tra cui quelli codificanti per una proteina, CPEB, fondamentale per la memoria a lungo termine. La proteina CPEB, coattivatore trascrizionale essenziale per la stabilizzazione della memoria a lungo termine e presente a livello sinaptico, assicurerà la trasmissione del messaggio in modo permanente (Fellus, 2019). Esistono due tipi di proteine CREB: CREB-1 attivatore e CREB-2 inibitore.

Una situazione fortemente emozionale può cortocircuitare le normali costrizioni e produrre una quantità sufficiente di molecole di MAP-chinasi, che saranno inviate al nucleo per inattivare le molecole CREB-2 e facilitare l'attivazione delle CREB-

1 e quindi la memorizzazione a lungo termine di questa esperienza. Map-kinasi agisce in sinergia con la proteina kinasi A, al fine di avviare la memorizzazione a lungo termine (Fellus, 2017).

Il Professor Kandel ha altresì dimostrato che, quando si lavora sul subconscio, non vi è alcuna necessità di lavorare a lungo, piuttosto in modo costante. Partendo dagli studi del premio Nobel Kandel e dalle sue scoperte riguardanti i meccanismi molecolari di trasferimento delle informazioni, tramite l'esercizio dalla memoria a breve termine a quella a lungo termine, il Dr. Fellus è arrivato alla conclusione che la rieducazione della deglutizione disfunzionale possa avvenire mediante la stimolazione del cablaggio neuronale ed un'engrammazione di origine sub-corticale dello stimolo correttivo, ideando il dispositivo miofunzionale denominato *Froggy-mouth* (Fadani, 2012).

Capitolo 2 – Le capacità motorie

2.1 La mobilità

La mobilità articolare può essere definita come l'abilità di un segmento corporeo di muoversi in determinati versi e direzioni. Ogni articolazione del corpo presenta dei gradi di movimento fisiologici (*Range Of Motion* – ROM) , che possono essere influenzati da diversi fattori; tra questi ricordiamo i limiti strutturali imposti dalla forma dei capi articolari, le strutture anatomiche che contornano l'articolazione (legamenti, capsula articolare, tendini, muscoli, pelle, tessuto adiposo) e dai fattori psico-fisico-emozionali che caratterizzano il soggetto (Sesso, Età, Temperatura corporea, Temperatura atmosferica, Ora del giorno, Stanchezza, Stato d'animo).

È possibile classificare la mobilità articolare in: dinamica; statica; attiva, dovuta all'azione muscolare volontaria; passiva, dovuta all'azione dell'inerzia o della gravità o al semplice peso del corpo, o ancora all'azione di un partner o di un attrezzo; mista - dovuta all'interazione delle due precedenti in forma varia.

La flessibilità dinamica (detta anche flessibilità cinetica) è la capacità di svolgere movimenti dinamici (o cinetici) dei muscoli, per portare un arto attraverso la sua intera gamma di movimento nelle articolazioni.

La flessibilità statica attiva è la capacità di assumere e mantenere posizioni distese, usando solo la tensione degli agonisti e degli agenti sinergici mentre sono allungati gli antagonisti (sollevare la gamba e tenerla in alto senza supporto esterno, utilizzando solo i muscoli della gamba). La flessibilità attiva è influenzata dalle capacità di contrazione dei muscoli agonisti, più precisamente dalla loro forza. Un rapporto molto delicato è quello che intercorre fra flessibilità e forza dell'atleta; le sole capacità di forza costituiscono un fattore limitante della mobilità attiva, l'opposto si realizza nella capacità di mobilità nel suo complesso (Weineck, 2009).

Spesso si osserva che soggetti molto forti presentano una limitata capacità di mobilità e, viceversa, soggetti molto flessibili sono poco dotati di forza.

2.2 La forza

La forza muscolare rappresenta uno degli aspetti più fondamentali delle capacità motorie umane e gioca un ruolo cruciale in una vasta gamma di attività quotidiane e sportive. È essenziale per qualsiasi movimento che coinvolga il nostro corpo nell'interazione con l'ambiente circostante. Che si tratti di sollevare un oggetto, spingere un peso, correre, saltare o semplicemente mantenere una postura armonica, la forza muscolare è sempre coinvolta.

Quando parliamo di questa capacità condizionale, ci riferiamo all'intelligenza dei muscoli di generare tensione attraverso la contrazione muscolare. Questa tensione è il risultato diretto dell'attivazione delle unità motorie nei muscoli. Ogni muscolo del nostro corpo è costituito da numerose fibre muscolari, ognuna delle quali è controllata da un'unità motoria. Quando il nostro cervello invia un segnale ai muscoli per contrarsi, le unità motorie vengono attivate e le fibre muscolari si accorciano, generando così la tensione muscolare. È questa tensione che consente ai muscoli di esercitare una forza su un oggetto esterno o di contrastare una resistenza (Brunetti, 2010).

Tipologie di fibre muscolari

Si identificano due tipi di fibre muscolari che sono ben distinguibili in base ai meccanismi primari che usano per produrre ATP, al tipo di innervazione del motoneurone e al tipo di catena pesante della miosina espressa. La distribuzione delle diverse tipologie di fibre muscolari varia nei diversi muscoli e da individuo a individuo (McArdle, Katch, & Katch, 2018) in quanto è un parametro che inizialmente è determinato dal patrimonio genetico.

Le fibre rapide (FT, *fast twitch*), di tipo II, sono in grado di esercitare forza elevata, di contrarsi con elevata velocità, a rapido affaticamento, a prevalente metabolismo anaerobico (sono anche indicate come FG, *fast glycolitic*); l'attivazione di queste fibre è ovviamente indispensabile in tutte le attività rapide di tipo anaerobico che richiedono elevata velocità e in tutte le altre attività di potenza che sono principalmente incentrate sul metabolismo energetico di tipo anaerobico (Billeter & Hoppeler, 1992). L'attivazione di queste fibre risulta quindi determinante anche

in quelle attività che richiedono una continua alternanza di pause e scatti, come nei giochi di squadra (pallacanestro, calcio, rugby, ecc.). Le fibre di tipo II si distribuiscono in tre sottotipi primari: tipo IIa, tipo IIx e tipo IIb. Studi recenti dimostrano che il muscolo scheletrico umano contiene fibre di tipo I, di tipo IIa e di tipo IIx (precedentemente denominate tipo IIb) e un nuovo sottotipo di tipo IIb (Spangenburg & Booth, 2003). La fibra di tipo IIa mostra una rapida velocità di accorciamento e una buona capacità di trasferimento di energia sia da fonti aerobiche sia anaerobiche; queste sono le fibre veloci-ossidative-glicolitiche (FOG). La fibra di tipo IIb possiede il massimo potenziale anaerobico e la più rapida velocità di accorciamento; rappresenta la “vera” fibra glicolitica veloce (FG). Una fibra di tipo IIx cade a metà strada tra le sue controparti “a” e “b” (McArdle, Katch, & Katch, 2018).

Le fibre lente (ST, *slow twitch*), tipo I, che erogano bassa forza a bassa velocità di contrazione, sono molto resistenti all'affaticamento e a prevalente metabolismo aerobico (sono anche dette SO, *slow oxidative*). Le fibre lente, o rosse, sono dunque specificatamente differenziate per il metabolismo aerobico e quindi adatte all'attività aerobica prolungata. A differenza delle fibre rapide, che si affaticano rapidamente, le fibre SO vengono selettivamente reclutate nel corso di attività di tipo aerobico (Karlsson & Jacobs, 1982). Vi sono condizioni nelle quali entrambi i tipi di fibre (I e II) sono coinvolti: si tratta di attività con intensità prossime al massimo consumo di ossigeno con l'aggiunta di una componente anaerobica, tipicamente il mezzofondo di atletica, ma anche in altri sport nei quali la richiesta energetica è dello stesso tipo (es. nuoto, pallacanestro, calcio).

In media adulti e adolescenti maschi e femmine possiedono il 45-50% di fibre di tipo lento nei muscoli degli arti superiori e inferiori. Per quanto riguarda le fibre rapide, esse si distribuiscono equamente tra tipo IIa e tipo IIb. Non esistono differenze legate al sesso, ma grandi differenze interindividuali (McArdle, Katch, & Katch, 2018). La tipologia muscolare si correla strettamente alle caratteristiche atletiche (Tesch & Karlsson, 1985). Atleti che eccellono nelle prove di resistenza possiedono un'elevata concentrazione di fibre lente nei gruppi muscolari che vengono attivati dalla specifica pratica sportiva. Viceversa, per atleti di alto livello nelle discipline di scatto c'è prevalenza delle fibre rapide. La figura 14 riporta la distribuzione percentuale delle fibre lente in vari in vari gruppi di atleti. Come si

può notare gli atleti che eccellono nelle prove di resistenza, come maratona e sci di fondo, possiedono la maggior concentrazione di fibre lente (sino al 90-95%) e anche la maggior potenza aerobica. I sollevatori di pesi, giocatori di hockey e scattisti, invece, hanno una bassa concentrazione di fibre lente.

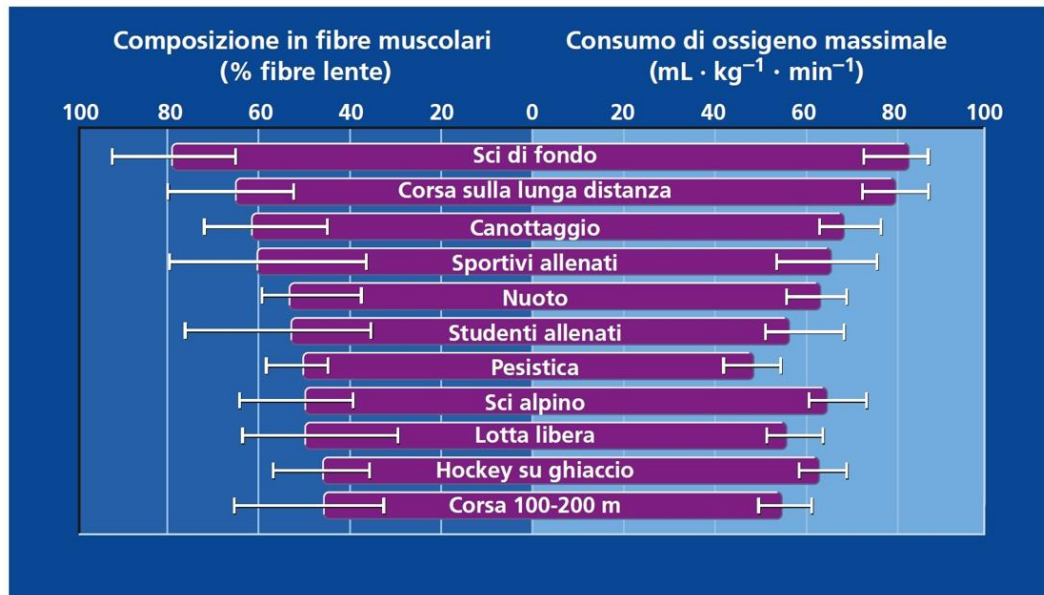


Figura 14 - Composizione delle fibre muscolari (% fibre a contrazione lenta, lato sinistro) e massimo consumo di ossigeno (lato destro) in atleti impegnati in diverse discipline sportive. Le barre bianche esterne indicano una variabilità (Bergh, et al., 1978).

Esiste una considerevole plasticità che consente la possibilità, in risposta ad allenamenti specifici e prolungati, di una progressiva trasformazione delle proprietà funzionali e morfologiche delle fibre delle cellule muscolari di entrambi i tipi. Un allenamento di resistenza induce una certa conversione di capacità aerobica da parte delle fibre di tipo IIb verso le fibre più ossidative di tipo IIa (Yan, 2000). Una considerevole ipertrofia muscolare, soprattutto a carico di fibre a contrazione rapida, si verifica in atleti di potenza e in sollevatori di peso di livello olimpico che si sono allenati per anni con programmi di esercizi atti a sviluppare la potenza e la forza (Tesch, Thorsson, & Kaiser, 1985); questo è motivato dall'attivazione massimale delle fibre muscolari rapide comporta un aumento della potenza dei meccanismi di produzione di energia di tipo anaerobico. In Tabella 3 sono presentati i cambiamenti che avvengono a carico delle fibre muscolari scheletriche con specifici programmi di allenamento: attraverso l'allenamento si può modificare il metabolismo delle fibre di tipo IIa nella direzione anaerobico-glicolitico, chi lavora, quindi, prevalentemente attraverso esercitazioni di forza o forza esplosiva, sicuramente sposterà il metabolismo di queste fibre nel verso anaerobico. In

generale, l'attività fisica recluta entrambi i tipi di fibre; tuttavia, le specifiche attività fisiche richiedono l'attivazione prevalente di fibre di un certo tipo rispetto ad un altro (McArdle, Katch, & Katch, 2018).

Tabella 3 – Effetti di specifiche forme di allenamento sul muscolo scheletrico

Fattori muscolari	Fibre lente		Fibre rapide	
	Tipo di allenamento			
	Forza	Resistenza	Forza	Resistenza
Percentuale di composizione	0 o ?	0 o ?	0 o ?	0 o ?
Dimensioni	+	0 o +	++	0
Proprietà contrattili	0	0	0	0
Capacità ossidative	0	++	0	+
Capacità anaerobiche	? o +	0	? o +	0
Contenuto di glicogeno	0	++	0	++
Ossidazione dei grassi	0	++	0	+
Densità capillare	?	+	?	? o +
Flusso sanguigno durante l'esercizio	?	? o +	?	?

0, nessun cambiamento;?, effetto sconosciuto; +, moderato aumento; ++, largo aumento.

Da un punto di vista fisiologico, la contrazione muscolare può essere di diversi tipi: la contrazione isometrica (dove la lunghezza del muscolo rimane costante), la contrazione eccentrica (dove il muscolo si allunga mentre si contrae) e la contrazione concentrica (dove il muscolo si accorcia mentre si contrae). Ognuno di questi tipi di contrazione è coinvolto in modi diversi durante varie attività e svolge un ruolo importante nel determinare la nostra capacità di generare forza e muoverci in modo efficace. La forza muscolare, dunque, è un aspetto fondamentale della nostra capacità motoria, influenzando direttamente la nostra capacità di eseguire una vasta gamma di attività fisiche. Il suo sviluppo e il suo mantenimento attraverso l'allenamento regolare sono essenziali per migliorare le prestazioni fisiche, prevenire lesioni e migliorare la qualità della vita in generale.

I principali determinanti della forza muscolare includono: fattori strutturali, nervosi e meccanici. I fattori strutturali riguardano lo stato di sviluppo e la dimensione dei nostri muscoli. Quando ci alleniamo, i nostri muscoli si adattano diventando più forti e più grandi, un processo noto come trofismo muscolare. Questo aumento della

massa muscolare non solo migliora la nostra capacità di generare forza, ma contribuisce anche alla protezione delle nostre articolazioni e alla stabilità del nostro corpo durante i movimenti. I fattori nervosi riguardano il modo in cui il nostro sistema nervoso controlla e coordina l'attivazione dei muscoli. Quando cerchiamo di generare forza, il cervello invia segnali ai muscoli coinvolti per attivare le unità motorie necessarie. Un migliore reclutamento delle unità motorie significa che siamo in grado di utilizzare più efficacemente i nostri muscoli, aumentando così la forza che possiamo generare. I fattori meccanici, infine, comprendono il modo in cui i nostri muscoli producono movimento. Un aspetto chiave è il concetto di contromovimento, che si verifica quando un muscolo si allunga (contrazione eccentrica) prima di accorciarsi (contrazione concentrica) per generare movimento. Questo doppio ciclo di contrazione può contribuire significativamente alla produzione di forza, specialmente in attività come il sollevamento pesi o il salto verticale.

In definitiva, la forza è una qualità multifattoriale che coinvolge sia aspetti strutturali che neurologici dei nostri muscoli, oltre a considerazioni meccaniche sul modo in cui produciamo movimento. Comprendere e ottimizzare questi fattori è cruciale per migliorare le nostre capacità fisiche e raggiungere i nostri obiettivi di prestazione fisica (Brunetti, 2010).

Classificazione delle Forza

Harre (1972): nel corso degli anni, vari studiosi della scienza dell'allenamento si sono prodigati per definire le varie tipologie di forza; la classificazione a cui tutti fanno riferimento è quella di Harre (1972). Harre ha distinto la forza in:

- ❖ Forza massimale (o pura), ovvero la forza più elevata che il sistema neuromuscolare è in grado di sviluppare con una contrazione muscolare volontaria. Prevale la componente carico a scapito della velocità di esecuzione. È spesso misurata attraverso test di massima resistenza, come ad esempio il "one-repetition maximum" (1RM), che consiste nel sollevare il peso massimo che si può sollevare per una sola ripetizione nel sollevamento pesi. Questa forma di forza è fondamentale in attività che

richiedono la capacità di sollevare carichi pesanti o di superare resistenze massime, come il sollevamento pesi o il powerlifting.

- ❖ Forza veloce, ovvero la capacità del sistema neuromuscolare di superare delle resistenze con una elevata rapidità di contrazione. Prevale la componente velocità a scapito del carico. Questo tipo di forza si applica sia agli arti superiori che agli arti inferiori, nonché agli oggetti come palloni, pesi, giavellotti, dischi, martelli, e così via. È importante notare che la forza rapida può variare da una parte del corpo all'altra nello stesso individuo. Ad esempio, un pugile potrebbe avere arti superiori molto veloci ma movimenti più lenti negli arti inferiori.
- ❖ Forza resistente (o resistenza alla forza), ovvero la capacità dell'organismo di opporsi alla fatica durante prestazioni di forza di lunga durata. La componente carico e la componente velocità mantengono valori medi e costanti per un arco di tempo relativamente lungo. È necessario, inoltre, un supporto organico di sostegno, funzionalità cardiocircolatoria e respiratoria. È essenziale in attività che richiedono resistenza muscolare prolungata, come il ciclismo, la corsa a lunga distanza o il nuoto. Contrariamente alla forza massimale, che si concentra sulla capacità di generare la massima quantità di forza in una singola contrazione, la forza resistente si focalizza sulla capacità di mantenere la forza nel tempo, anche in presenza di fatica muscolare.

Questa classificazione è la più conosciuta ed utilizzata da tutti anche se, ai giorni nostri, appare limitata non prevedendo alcuni importanti tipologie di forza che altri autori hanno poi evidenziato.

Kusnesov (1984) ha classificato la forza in:

- ❖ Forza statica, utilizza contrazioni isometriche;
- ❖ Forza dinamica, prevede movimento, distinta in funzione della velocità di esecuzione in: Forza dinamica esplosiva (massima velocità), Forza dinamica veloce (alta velocità) e Forza dinamica lenta;

Verchoshanskij (1984): molto articolata e completa è invece la classificazione di Verchoshanskij che distingue la forza in:

- ❖ Forza tonica, elevate tensioni muscolari con carichi massimali o sub-massimali;
- ❖ Forza fasica, prestazione protratta nel tempo con carichi che lo consentano;
- ❖ Forza fasico-tonica, momenti con intensità elevata e altri con intensità minore;
- ❖ Forza esplosiva tonica, carichi elevati e massima velocità di esecuzione possibile;
- ❖ Forza esplosiva balistica, carichi leggeri mossi alla massima velocità di esecuzione;
- ❖ Forza esplosiva reattivo-balistica, con contrazioni pliometriche a carico naturale;
- ❖ Forza veloce, velocità di esecuzione alta, ma non massimale e si divide in aciclica (il movimento è singolo) e ciclica (movimento protratto nel tempo).

Hatfield (1997) fa una diversa distinzione della forza, classificandola in questo modo:

- ❖ Forza massimale, ovvero la massima espressione di forza che un atleta può esprimere, distinguendola ancora in Forza limite e Forza assoluta;
- ❖ Forza iniziale, ovvero quella che prevede l'attivazione simultanea del maggior numero di fibre (coordinazione intramuscolare);
- ❖ Forza esplosiva, è conseguente alla forza iniziale e consente di continuare il movimento ad intensità massimale;
- ❖ Forza anaerobica, ovvero quella che, utilizzando carichi ridotti, può essere protratta per molto tempo utilizzando il sistema aerobico. Si distingue a sua volta in aciclica e ciclica.

Vittori (1990) fa una classificazione non stereotipata della forza. La forza può essere divisa in:

- ❖ Forza Attiva: questa forza è la capacità del sistema neuromuscolare di produrre una tensione grazie solo al “ciclo semplice” di lavoro, quello di accorciamento della parte contrattile. Quindi è quell'azione determinata dall'attività biochimica che si realizza nella componente contrattile della fibra muscolare.

- ❖ Forza Semi-Attiva o Statico-Attiva: tale espressione di forza è la risultante del lavoro dinamico del muscolo combinato con una espressione di forza isometrica, isometria totale. Quest'ultima si verifica quando nel mezzo di una contrazione dinamica (concentrica o eccentrica) s'inserisce un'azione statica per cui il lieve avvicinamento dei capi articolari è assicurato da un regime di contrazione dinamica e interrotto dal lavoro isometrico. Ovviamente com'è deducibile, questo tipo di lavoro isometrico non si effettua contro carichi inamovibili (isometria massimale) ma con carichi inferiori al proprio massimale isometrico.
- ❖ Forza reattiva: si identifica con la tensione prodotta da un "doppio ciclo" di lavoro muscolare, dove l'accorciamento (fase concentrica) è preceduto da un allungamento (fase eccentrica). Questo tipo di forza è la più redditizia, poiché nella fase eccentrica c'è un accumulo di energia elastica che viene utilizzata sotto forma di lavoro meccanico nella successiva contrazione concentrica. Inoltre, questo tipo di attività provoca un potenziamento neurogeno attraverso i riflessi miotatici. Per far sì che ciò si verifichi è importante che il passaggio dalla fase eccentrica a quella concentrica avvenga nel più breve tempo possibile, altrimenti l'energia elastica accumulata nella fase eccentrica si disperde sotto forma di calore

Bosco (1985) descrive una classificazione biologica, neuromuscolare e metabolica della forza. Questo tipo di classificazione si basa rigorosamente su principi biologici: le varie espressioni di forza si possono classificare considerando sia gli aspetti neuromuscolari che ne modulano la tensione, sia i processi metabolici coinvolti che ne determinano la durata. Il comportamento meccanico peculiare che possiede il muscolo scheletrico, è marcato dalla relazione iperbolica che si realizza tra la velocità di accorciamento e la tensione sviluppata (Figura 15). Infatti, con il diminuire del carico da sollevare, la forza che deve essere sviluppata diminuisce mentre la velocità aumenta. Perciò, appare abbastanza evidente che la forza massimale si realizza a basse velocità, mentre la forza esplosiva (o forza veloce) si realizza ad alte velocità. In contrasto, la resistenza alla forza veloce e la resistenza muscolare sono fortemente caratterizzate dai processi metabolici coinvolti e poco da quelli neuromuscolari (Bosco, La forza muscolare. Aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche, 2002).

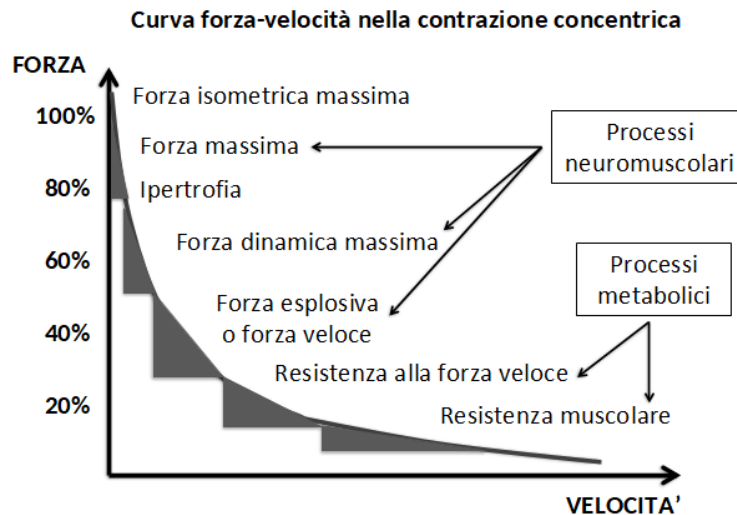


Figura 15 - Relazione forza-velocità (Bosco, La forza

- ❖ Espressioni di forza determinate da fattori neuromuscolari (Neurogeni): Forza massima, che porta all'ipertrofia; Forza dinamica massima; Forza esplosiva o forza veloce
- ❖ Espressioni di forza determinate da fattori metabolici: Resistenza alla forza veloce; Resistenza muscolare

Forza esplosiva

Il metabolismo anaerobico (alattacido e lattacido) e le caratteristiche visco-elastiche dei muscoli nel loro comportamento funzionale quale la stiffness e tutte le espressioni di forza (massimale, isometrica, esplosiva), di velocità e di capacità di immagazzinare e utilizzare energia elastica, sono fattori determinanti nella maggior parte dei lavori muscolari richiesti in molte discipline sportive. La forza esplosiva, in relazione alla modalità con cui viene espressa, si suddivide in: forza esplosiva (pura), forza esplosiva elastica e forza esplosiva elastica riflessa (*stiffness*). Weineck definisce la forza esplosiva come “la capacità del sistema neuromuscolare di accrescere in modo massimale la forza e la velocità di contrazione nello svolgimento di un movimento (salto, calcio)” (Weineck, 2009).

La forza esplosiva pura è il sollevamento o lo spostamento veloce di un carico (anche del corpo) che inizia da una situazione di immobilità (esempio: partenza da fermo in uno sprint, salti e balzi con partenza da fermo da un angolo articolare prestabilito). Rilevante risulta la capacità di riuscire a reclutare il maggior numero

di unità motorie all'inizio della contrazione (forza iniziale) e quindi realizzare una rapida salita della curva forza-tempo. La forza esplosiva è espressione di “Forza Attiva”, cioè un effetto prodotto da un ciclo di contrazione semplice di accorciamento del muscolo da uno stato di quiete. La potenza meccanica muscolare, calcolata come prodotto di forza per velocità e che esprime la capacità di sviluppare energia in tempi brevi, è uno dei fattori che più di tutti influiscono sul rendimento di qualunque sportivo. Il miglioramento della forza esplosiva prevede anche l'incremento della forza massimale. Test per valutare la forza esplosiva pura per gli arti inferiori è lo *Squat Jump (SJ)*.

La forza esplosiva elastica è una forza reattiva, cioè un effetto prodotto da un doppio ciclo di lavoro muscolare stiramento-accorciamento. Si esprime quando vi è azione pliometrica della muscolatura con movimenti articolari accentuati (esempio come nel salto in alto o nei balzi) eseguiti alla massima velocità. Nell'azione pliometrica, ad una veloce azione eccentrica segue una rapidissima azione concentrica; questo permette di utilizzare una ulteriore percentuale di forza espressa dalla componente elastica dei muscoli (surplus di energia accumulata in fase eccentrica o di “caricamento”). Test per valutare la forza esplosiva elastica negli arti inferiori è il *Counter Movement Jump (CMJ)*.

La forza esplosiva elastica riflessa (*stiffness*), anche questa di tipo “reattivo”, si esprime quando vi è azione pliometrica con movimenti articolari con ampiezza limitata e il più rapidi possibili (esempio come nella corsa o nei saltelli). Solitamente si riferisce all'appoggio e rapida spinta a terra del piede. La rapidità e la limitatezza del piegamento dell'arto, nel momento dell'appoggio a terra, sono infatti le due condizioni essenziali perché si produca, per via riflessa, (miotatica), un'ulteriore stimolazione nervosa che si concretizzerà nella eccitazione di una quota aggiuntiva di unità motrici, nella fase successiva di contrazione e, quindi, in un surplus di forza. Da qui il termine di forza riflessa. È questa l'espressione fenomenologica più rapida della forza. Test per valutare la forza esplosiva elastica riflessa per gli arti inferiori è il *Drop Jump (DJ)*.

I test spiegati in precedenza sono stati introdotti con il Test di Bosco e della relativa pedana, che ha rappresentato una svolta per le indagini delle caratteristiche individuali e la selezione delle qualità specifiche di ogni atleta, consentendo una

valutazione diagnostica accurata dal punto di vista qualitativo e quantitativo. Prima delle novità introdotte da Bosco, i processi biochimici coinvolti nella contrazione, il metabolismo energetico e le caratteristiche neuromuscolari sono state le proprietà biologiche oggetto di maggiore indagine e di stima qualitativa oltre che quantitativa. Modelli matematici e alcune proprietà biologiche delle caratteristiche specifiche che distinguono le fibre rapide (FT) da quelle lente (ST) costituiscono le basi fondamentali del metodo introdotto da Bosco. Le FT, infatti, sono caratterizzate da un'espressione rapida di sviluppo di forza dovuto ad una maggiore concentrazione di ATP-asi (Burt, Glonek, & Bárány, 1976) ed a una più elevata frequenza di stimolo essendo queste innervate da nervi motori più grandi ed a conduzione nervosa più rapida dei motoneuroni connessi con le ST (Burke, Levine, Tsairis, & Zajac, 1973). Queste caratteristiche delle FT conferiscono agli atleti che ne sono ricchi una prestazione di salto verticale di gran lunga più elevata rispetto ai soggetti con maggior numero di ST.

La misura che viene determinata dai tre test sopra citati, Squat Jump (SJ) per la forza esplosiva pura, Counter Movement Jump (CMJ) per la forza esplosiva elastica e il Drop Jump (DJ) per la forza esplosiva elastica riflessa (*stiffness*), è l'altezza del salto effettuata nei tre diversi modi. È possibile altresì valutare l'indice di elasticità, cioè il coefficiente di riutilizzo elastico della forza, utilizzando i risultati dei test SJ e il CMJ con la seguente formula (Buonaccorsi, 2003):

$$[(\text{CMJ} - \text{SJ}) * 100 / (\text{CMJ})]$$

Tale coefficiente è un indicatore delle capacità di riutilizzo dell'energia accumulata grazie al prestiramento elastico che precede la contrazione muscolare. I valori medi di tale coefficiente riscontrati nei giocatori di calcio sono sull'ordine del 6-10% dello SJ. In altri sport come la pallavolo, il coefficiente raggiunge valori ottimali pari ad oltre il 20% dello SJ (Buonaccorsi, 2003).

Allenamento della forza in età giovanile

Durante il percorso di crescita di un giovane atleta, quattro periodi cruciali delineano il loro sviluppo fisico e le potenzialità nell'allenamento della forza.

- Età 9-11 anni: Durante questa fase introduttiva, si enfatizza il movimento ludico e la coordinazione motoria anziché la massimizzazione della forza muscolare. Attraverso giochi e attività divertenti, si sviluppano le abilità motorie di base senza l'uso di pesi aggiuntivi.
- Età 12-14 anni: Durante la fase di crescita rapida, si bilancia l'allenamento della forza con la prevenzione degli infortuni. Si lavora principalmente con carichi naturali e leggeri, mantenendo un'attenzione sulla corretta esecuzione dei movimenti e sul rafforzamento della muscolatura posturale.
- Età 14-16 anni: Durante l'adolescenza, si massimizza l'allenabilità della forza, concentrandosi sull'uso di carichi naturali e leggeri per favorire l'ipertrofia muscolare. Si inseriscono esercizi che coinvolgono il proprio peso corporeo e l'uso di attrezzi come palle mediche, mantenendo un'attenzione sulla corretta esecuzione dei movimenti.
- Età 16-18 anni: Durante l'ultima fase dell'adolescenza, si intensifica l'allenamento della forza con l'uso progressivo di sovraccarichi controllati. Si lavora sulla specificità degli esercizi e si introducono in modo graduale e sistematico esercizi di potenziamento con pesi liberi o attrezzature specifiche, mantenendo sempre un'attenzione sulla prevenzione degli infortuni e sull'equilibrio muscolare.

Il percorso di allenamento della forza nei giovani atleti attraversa diverse fasi, con un focus crescente sull'uso appropriato dei carichi e sulla corretta esecuzione dei movimenti per massimizzare il potenziale di sviluppo muscolare e prevenire lesioni.

2.3 L'equilibrio

Il termine equilibrio, in fisica, viene definito come lo stato di un oggetto in cui la risultante delle forze agenti sul centro di massa è pari a zero (primo principio della dinamica). Per definire se un oggetto è in equilibrio si deve valutare la posizione del centro di massa rispetto all'area di base. A seguito di tale enunciato un oggetto è in equilibrio nella misura in cui il suo centro di massa rientra nell'area di base. Di contro, lo squilibrio si verifica quando il centro di massa esce fuori dall'area di base. Il concetto di equilibrio si unisce ad un altro termine, ovvero stabilità. Con il

termine stabilità si fa riferimento alla linea di gravità che cade all'interno dell'area di base, se la linea di gravità cade fuori dall'area di base, l'oggetto sarà instabile. Più sarà maggiore lo spostamento della linea di gravità all'interno dell'area di base, maggiore sarà la stabilità di quell'oggetto. Allo stesso modo, maggiore sarà la forza esterna che viene applicata sull'oggetto prima che si sbilanci, maggiore sarà la sua stabilità.

Questi principi meccanici sono ugualmente applicabili per definire l'equilibrio dell'essere umano. Durante la posizione eretta, l'essere umano ha un centro di gravità relativamente alto ed un'area di base piccola, in questa fase il corpo umano ha una capacità intrinseca di percepire anche la minima minaccia alla stabilità, contrastandola con l'attivazione muscolare per prevenire la caduta. Questo sistema viene denominato comunemente "controllo posturale", ed è un prerequisito fondamentale per il mantenimento delle posture. Il controllo dell'equilibrio umano può essere suddiviso in tre classi: mantenere una postura specifica; effettuare un movimento volontario (passaggio tra le posture); postura da reazione: reagire ad un'interferenza esterna

La stabilità umana può essere considerata come la capacità intrinseca di un soggetto di mantenere, raggiungere o ripristinare lo stato di equilibrio, però bisogna considerare anche tutti i sistemi che lavorano in sinergia per raggiungere tale obiettivo ovvero i sistemi sensoriali e motori della persona, oltre ai principi meccanici. Esistono diverse strategie di controllo posturale che possono essere suddivise in reattive (rientrano quelle posture che compensano) e predittive (rientrano le posture che anticipano un'attività). Un controllo posturale reattivo comporta un movimento o una risposta muscolare a seguito di un disturbo improvviso, mentre la strategia predittiva comporta un aumento dell'attività muscolare o movimento volontario in previsione di disturbo previsto. Entrambe le strategie utilizzano un "supporto fisso", dove la linea di gravità rimane sempre all'interno dell'area di base, oppure l'area di base si muove in modo tale che la linea di gravità la intersechi. Tutte queste strategie devono tener conto dell'ambiente e dal controllo di tutte le variabili da parte del sistema nervoso centrale; quindi, implica che quest'abilità motoria sia appresa ed allenata (Pollock, Durward, Rowe, & Paul, 2000).

Diversi sistemi sono responsabili dell'equilibrio come le retine che danno informazioni su ciò che si trova davanti al soggetto, il sistema vestibolare che informa la corteccia cerebrale sulla posizione del capo e con l'aiuto delle vie vestibolo-spinali regola la tensione muscolare del tronco (Terranova, 2017).

Propriocettori come Corpuscolo di Pacini e Ruffini, organi tendinei del Golgi e fusi neuromuscolari sono indicatori di pressione, vibrazione, allungamento e contrazione muscolare e informano continuamente la corteccia cerebrale sullo stato dei muscoli in condizione statica e dinamica, ciò permetterà al sistema di compensare e modula le risposte motorie al fine del mantenimento dell'equilibrio. Questi sistemi vengono suddivisi in due categorie ovvero INPUT e OUTPUT. I primi riguardano tutte le afferenze che arrivano alla corteccia quali le informazioni visive, vestibolari, somatosensoriali e reticolare (cervelletto e sistema extrapiramidale). I secondi riguardano le efferenze che raggiungono la periferia come il riflesso vestibolo- oculare che permette di mantenere lo sguardo su un oggetto indipendentemente dal movimento che esso faccia, il riflesso vestibolo – spinale garantito dai nuclei vestibolari ai corpi cellulari dei muscoli che si trovano a livello dei corni anteriori del midollo spinale ed infine il riflesso collico-vestibolare che riguarda la contrazione dei muscoli del collo in base al movimento del capo. Entrambi i sistemi lavorano in sinergia per mantenere un controllo posturale ed il mantenimento e stabilizzazione dell'immagine sulla retina.

Il cervello sfrutta tutti i segnali provenienti da questi sistemi sensoriali per tracciare il movimento e l'orientamento nello spazio, questa integrazione tra i vari sistemi permette di generare risposte rapide per rimanere stabili e in piedi. Il sistema vestibolare e il sistema propriocettivo sono incredibilmente veloci, il sistema vestibolare si differenzia tra i sistemi sensoriali perché gli stessi neuroni che ricevono input dai nervi afferenti periferici, a loro volta inviamo proiezioni dirette ai motoneuroni. Il sistema propriocettivo che rileva la posizione degli arti l'uno rispetto all'altro e lavorando insieme con il sistema vestibolare permette di generare risposte posturali compensative entro i 10 ms (Cullen, 2019). Il sistema visivo risulta essere più lento (circa 100 ms) a causa del ritardo dato dai percorsi intrinseci che trasformano le informazioni visive in movimento. Nella vita di tutti i giorni, l'integrazione di questi sistemi permette di codificare il senso del movimento, sia che si tratti di movimento volontario che involontario/inaspettato, l'obiettivo è

sempre il mantenimento della postura e per tale motivo il cervello utilizzerà tutte le informazioni ricevute dai percorsi vestibolo-spinali per generare aggiustamenti posturali per stabilizzare il soggetto nell'ambiente circostante. Il movimento involontario/inaspettato attiverà le vie vestibolo-spinali per generare rapide risposte compensatorie, mentre l'attivazione del sistema vestibolare sarà conseguenza di un movimento volontario.

Durante i movimenti il cervello elabora un "modello interno" dalle conseguenze sensoriali ricevute (Brooks, Carriot, & Cullen, 2015), questa elaborazione viene eseguita dal cervelletto, un'area fondamentale per la coordinazione del movimento in tempo reale e l'equilibrio per mantenere la postura, con la capacità di distinguere gli input sensoriali provenienti da azioni volontarie ed inaspettate. Nel contesto dell'equilibrio, le registrazioni eseguite nel percorso vestibolare talamocorticale hanno dimostrato che i neuroni codificano selettivamente il movimento inaspettato, realizzando così una risposta neurale che garantisca stabilità percettiva durante il movimento attivo rispetto a quello improvviso (Dale & Cullen, 2019).

Durante il movimento, i neuroni di output cerebellari tengono traccia delle differenze tra afflusso sensoriale previsto e quello sperimentale, ciò permette di elaborare una rappresentazione del movimento inaspettato sperimentato, che a sua volta verrà messo in pratica in pochi millisecondi per la regolazione dell'equilibrio del soggetto. Ripetere frequentemente un'azione complessa permette al cervello di costruire sofisticati modelli interni che verranno utilizzati al momento del movimento atteso, questo sistema è in continuo aggiornamento man mano che i muscoli ed il corpo cambiano fino a raggiungere una flessibilità necessaria per calibrare continuamente le relazioni tra i segnali motori e i sistemi sensoriali.

La capacità dell'essere umano di raggiungere sia la stabilità percettiva che il controllo motorio accurato lo si deve alla capacità del cervello di distinguere gli input sensoriali. Studi recenti hanno dimostrato che la capacità di un soggetto di mantenere l'equilibrio può essere influenzata da possibili disfunzioni a carico dell'ATM.

2.4 L'interferenza della deglutizione su mobilità, equilibrio e forza esplosiva

Mobilità e deglutizione

L'interferenza della deglutizione sulla mobilità articolare può facilmente essere descritta prendendo in considerazione i rapporti di natura anatomo-fisiologici e funzionali, che appartengono alle strutture anatomiche che permettono questa funzione vitale. La lingua, ad esempio, a livello biomeccanico e muscolo-fasciale è fortemente correlata all'articolazione occipito-atlantidea e di conseguenza, a livello clinico, è in grado di influenzare la postura agendo sulla posizione di testa e collo. In una deglutizione disfunzionale lo squilibrio posturale con maggiore frequenza è rappresentato dalla Sindrome glosso-posturale di tipo 1 (si riscontra in più dell'85% dei casi esaminati). Nel contesto posturale di questa condizione risultano frequentemente riportate la “*Upper Crossed Syndrome*” e la “*Lower Crossed Syndrome*” (Chaitow & Franke, 2013), le quali, nel tempo, possono determinare una “*Movement Impairment Syndromes*” (Sahrmann, Azevedo, & Dillen, 2017; Scoppa & Pirino, Is there a relationship between body posture and tongue posture? Glosso-postural syndrome between myth and reality, 2019). Queste sindromi incrociate consistono in uno squilibrio neuromuscolare, in cui il rapporto reciproco tra i muscoli sinergici e antagonisti, è permanentemente alterato.

Di particolare interesse, per meglio comprendere l'interferenza della deglutizione sulla mobilità articolare, risulta la “*Lower Crossed Syndrome*” (LCS). La LCS è un disturbo che si manifesta nel soggetto con tensione, debolezza e rigidità di specifici gruppi muscolari degli arti inferiori (Das, et al., 2017). Lo squilibrio neuromuscolare è caratterizzato dalla presenza di: piccolo gluteo debole con muscoli flessori dell'anca iperattivi e tesi; muscolatura addominale debole con iperattività della muscolatura paravertebrale lombare; medio gluteo debole con iperattivazione e accorciamento del quadrato dei lombi e del tensore della fascia lata. Ciò determina una vera e propria “sostituzione” di muscoli negli schemi motori, sia nella funzione statica che in quella dinamica, in quanto per produrre l'estensione dell'anca, la debolezza dei muscoli glutei viene compensata dall'iperprogrammazione della zona lombare e degli ischiocrurali. Per fornire una

buona stabilizzazione lombo-pelvica laterale, la debolezza del gluteo medio è compensata dalla fascia lata e dal quadrato dei lombi. Nella flessione del tronco, l'inefficienza della parete addominale è compensata da una forte contrazione del muscolo ileopsoas, che risulta teso ed accorciato (Scoppa & Pirino, Is there a relationship between body posture and tongue posture? Glosso-postural syndrome between muth and reality, 2019; Pathan, Phansopkar, & Naqvi, 2020).

La spiegazione neurofisiologica di questi squilibri può essere data in due modalità: prendendo in considerazione il meccanismo di innervazione reciproca di Sherrington, per cui un muscolo iperattivo e teso inibisce il suo antagonista; oppure mediante una modifica degli schemi motori e posturali: se vi è una catena muscolare iperprogrammata, la cui attivazione è massiccia e il timing di attivazione è anticipato, vi sarà una catena antagonista ipoprogrammata, la cui attivazione è modesta e i tempi di attivazione sono ritardati. A livello posturale, il risultato di questo squilibrio è un'antiversione del bacino, con un aumento della lordosi lombare; la retrazione dei muscoli ischio-crurali, quindi, può essere considerata come l'espressione di un meccanismo di compenso per ridurre la tendenza alla rotazione pelvica (Scoppa & Pirino, Is there a relationship between body posture and tongue posture? Glosso-postural syndrome between muth and reality, 2019).

Quando vi è un'attivazione muscolare degli estensori della coscia ci sarà una riduzione della capacità contrattile della muscolatura flessoria, poiché esistono dei circuiti inibitori a livello midollare che fanno sì che, quando un muscolo (agonista) si contrae, il suo antagonista si rilascia (Viel, 1997). L'inibizione dei flessori dell'arto inferiore determinerà una riduzione della mobilità di quello specifico pattern motorio.

Fatte queste doverose premesse è possibile dunque affermare che esiste una diretta correlazione tra deglutizione e mobilità articolare.

Equilibrio e deglutizione

La capacità dell'essere umano di raggiungere sia la stabilità percettiva che il controllo motorio accurato lo si deve alla capacità del cervello di distinguere gli input sensoriali. Il sistema dell'equilibrio nasce dalla cooperazione tra il sistema vestibolare, cioè l'orecchio interno che invia le informazioni sulla direzione dei

movimenti al cervello; il sistema visivo, che fa comprendere la direzione di un movimento ed il sistema estero-proprioceettivo, che attraverso i suoi recettori comunica al cervello le informazioni provenienti dall' esterno. Quando il cervello riceve informazioni conflittuali dai tre sistemi, compaiono i sintomi della vertigine e del disequilibrio.

Il mantenimento della posizione bipodalica dipende dunque fortemente dal corretto funzionamento delle vie trigeminali, le quali ricevono le informazioni di natura proprioceettiva anche dall'apparato stomatognatico, "La sensibilità proprioceettiva dello stesso distretto orale è affidata a fibre nervose i cui corpi cellulari si trovano nel nucleo mesencefalico del trigemino" (Goellner & Rocha, 2020). La forte comunicazione neuro-anatomica tra i meccanismi che governano l'equilibrio e l'apparato stomatognatico sembrerebbe già ampiamente giustificare la presenza di una forte interferenza della bocca sul controllo posturale; tuttavia, a favore della nostra ipotesi è possibile mettere in luce anche diversi collegamenti di natura anatomico-funzionale.

Sono stati dimostrati rapporti di intima vicinanza a livello spinale tra le terminazioni nervose trigeminali e quelle dei primi plessi cervicali tanto da far supporre l'esistenza di vie nervose di convergenza o di interconnessione a livello del nucleo spinale; si è osservato infatti che le informazioni afferenti trigeminali possono modificare il meccanismo di controllo della postura, l'anestesia omolaterale del trigemino sembrerebbe, infatti, indurre una contrazione dell'arto inferiore omolaterale che fa sì che il peso corporeo si sposti sull'arto controlaterale (Gangloff & Perrin, 2002). Inoltre, sono state ipotizzate correlazioni tra mandibola, muscoli sovraioidei e vertebre cervicali che andrebbero a costituire un complesso anatomico-funzionale il cui anello di congiunzione sarebbe rappresentato dall'osso ioide. Lo stesso osso ioide potrebbe rappresentare il mediatore delle variazioni posturali della testa in seguito a cambiamenti di posizione della mandibola (Gallozzi, 2003).

L'osso ioide è tenuto in sospensione dai muscoli sopra e sottoioidei, la cui funzione è di trasferire le tensioni e le informazioni ricevute dalle strutture sopraioidee a quelle sottoioidee e viceversa, diventando così il punto chiave di questi meccanismi. Un allineamento errato della testa, causato da un problema di tipo discendente sarà trasferito, attraverso lo ioide e i muscoli sopraioidei, alle strutture

sottostanti che dovranno adattarsi ad una diversa tensione, scatenando una serie di compensi che gradualmente portano a ripercuotersi fino al piede (Pelosi, 2014).

A dimostrazione del fatto che alterazioni nell'allineamento dei denti erano correlate a un minore controllo dell'equilibrio nel 1998 è stato condotto uno studio da Bernkopf, Maraggia e Bosetti su 82 pazienti, di cui 14 maschi tra i 19 e i 49 anni di età e 68 femmine tra i 12 e gli 89 anni, che presentavano problemi ai denti e/o disfunzione cranio-mandibolare e varie forme di vertigini., sbandamento e perdita di equilibrio. Dopo averli sottoposti a terapie di riposizionamento mandibolare e a cure odontoiatriche, i risultati ottenuti sono stati di guarigione totale dai problemi di equilibrio per ben 12 maschi e 58 femmine, guarigione parziale per 7 femmine e insuccesso su soli 2 maschi e 3 femmine. Risulta evidente quindi che i problemi di equilibrio possano verificarsi anche per alterazione delle fisiologiche risposte sensoriali, integrative e motorie provenienti dall'apparato stomatognatico (Bernkopf, Maraggia, & Bosetti, 1990).

Una correlazione diretta tra deglutizione ed equilibrio ci è data dal lavoro di Wildenberg et al. i quali, mediante uno studio pilota, sono riusciti a dimostrare che una stimolazione elettrica sostenuta della lingua riuscisse a produrre una neuromodulazione corticale e sottocorticale della rete di elaborazione dell'equilibrio. Nello studio sono stati considerati 21 soggetti: 12 che presentavano problemi di equilibrio (gruppo sperimentale) e 9 soggetti che non presentavano disturbi (gruppo di controllo). Nelle 12 persone con disfunzioni dell'equilibrio sono state misurate l'oscillazione posturale ed è stata valutata l'attivazione del nervo ottico mediante risonanza magnetica funzionale (fMRI) e successivamente sono state sottoposte a una settimana di neuromodulazione non invasiva dei nervi cranici (CN-NINM). Anche i 9 soggetti normotipi sono stati sottoposti ai test di oscillazione posturale e ai test fMRI ma non hanno ricevuto CN-NINM. I risultati hanno mostrato che prima del CN-NINM i soggetti con problemi di equilibrio oscillavano più dei controlli normali come previsto ($p \leq 0,05$) e che l'oscillazione complessiva e la suscettibilità al flusso ottico diminuivano dopo CN-NINM ($p \leq 0,005$ e $p \leq 0,05$) (Wildenberg, Tyler, Danilov, Kaczmarek, & Meyerand, 2010).

Un ulteriore contributo che avvalora la nostra ipotesi è riscontrabile negli studi del dottor Alghadir AH. Et al. durante lo studio si è messa a confronto la velocità media

di oscillazione del baricentro corporeo in due condizioni: con la mandibola in posizione neutra (posizione abituale) e con la lingua posizionata a livello degli incisivi superiori (sullo spot palatino). Allo studio hanno partecipato centosedici soggetti maschi (età media $31,56 \pm 8,51$ anni e altezza $170,86 \pm 7,26$ cm). I risultati delle valutazioni mostrano che la velocità del COG è diminuita significativamente mentre la lingua era posizionata a livello dello spot palatino rispetto all'altra condizione testata (Alghadir, Zafar, & Iqbal, 2015).

Per tutti questi elementi esposti è possibile affermare che esiste una forte correlazione tra la funzionalità linguale ed il mantenimento dell'equilibrio.

Forza e deglutizione

L'apparato stomatognatico si trova in un punto cruciale per il passaggio delle informazioni sensitivo-motorie dal centro alla periferia e viceversa, creando una stretta connessione tra tratto cervicale, mandibola e osso iode, il quale è anatomicamente e funzionalmente connesso alla lingua. Di conseguenza, qualsiasi perturbazione (anatomico-funzionale) a livello della bocca si ripercuote sia sul tratto cervicale sia sulle articolazioni temporo-mandibolari, andando ad interessare in maniera discendente lungo le mio-fasce le seguenti porzioni corporee, fino ai piedi.

Durante l'esercizio, il sistema nervoso centrale gestisce lo sviluppo della coppia agonista/antagonista all'interno di una specifica articolazione mediante due aggiustamenti: prolungando l'attività del muscolo agonista e sfasando il picco di attivazione dei muscoli antagonisti (Prodoehl, Gottlieb, & Corcos, 2003). In questo contesto, è stato recentemente dimostrato che diversi tipi di allenamento della lingua inducono una diversa plasticità corticale (Kothari, et al., 2013). Infatti, dall'esperienza pratica sul campo con alcuni atleti che descrivono il proprio modo di gestire la potenza di un esercizio fisico, risulta che la potenza di un movimento articolare potrebbe essere influenzata dalla posizione della lingua in bocca durante l'esecuzione di compiti pesanti (Schmidt, Carlson, Usery, & Quevedo, 2009; Valdés, Gutiérrez, Falace, Astaburuaga, & Manns, 2013).

Per verificare questa ipotesi di Vico R. et al. hanno svolto uno studio valutando l'effetto della posizione della lingua sulla prestazione del test isocinetico di

estensione/flessione del ginocchio. Diciotto partecipanti sono stati sottoposti in modo casuale a test isocinetici a 90° e 180° con tre diverse posizioni della lingua: posizione centrale (MID, spinta sulla superficie linguale dei denti incisivi), distesa sull'arcata inferiore della bocca (LOW) ed estesa fino alla macchia palatina (UP). L'analisi statistica dei dati ha rivelato un aumento significativo di circa il 30% del picco di coppia di flessione del ginocchio in UP rispetto a MID ad entrambe le velocità angolari (di Vico, Ardigò, Salernitano, Chamari, & Padulo, 2014).

La posizione della lingua potrebbe quindi rientrare tra le variabili posturali che influenzano i test di forza muscolare degli arti inferiori.

2.5 Prestazione sportiva: il Futsal

Futsal è il nome ufficiale della versione indoor del calcio a 5 (1 portiere e 4 giocatori di movimento) ed è stato introdotto dalla FIFA nel 1930, e la sua popolarità sta crescendo in tutto il mondo. Dal 1989 la Coppa del Mondo di Futsal è stata disputata da paesi di tutti i continenti ogni 4 anni e ha coinvolto 16 squadre nella prima edizione, diventate poi 24 nel 2012. Esso viene praticato in tutto il mondo da uomini e donne, ragazzi e ragazze, sia nei campionati professionistici che amatoriali, ma anche nelle scuole e nella maggior parte dei settori giovanili di squadre di calcio come strategia per incrementare lo sviluppo dei giocatori. Le partite si strutturano in 2 tempi da 20 minuti effettivi, ovvero che il tempo viene fermato quando la palla è fuori gioco e per qualsiasi evento che possa far perdere tempo, il che significa che la partita di solito dura il 70-85% in più rispetto al totale programmato di 40 minuti. La struttura del campo da gioco è un rettangolo di dimensioni 40x20m con due porte di 3x2m poste sui lati corti del campo, con superficie in parquet o gommato. Il pallone utilizzato è a basso rimbalzo e più piccolo (misura 4) rispetto a quello utilizzato nel calcio (misura 5). Nelle competizioni organizzate dalla FIFA, le squadre sono composte da una rosa di 12 giocatori (2 portieri e 10 giocatori di movimento) e sono consentite sostituzioni illimitate. Il Futsal è stato progettato per mantenere il ritmo e l'intensità di gioco alta per tutta la partita, e ciò è consentito proprio grazie alle sostituzioni "a rotazione" (Barbero-Alvarez, Soto, Barbero-Alvarez, & Granda-Vera, 2008).

Modello prestativo

Il modello prestativo del futsal può differire da quelli di altri sport, poiché ogni giocatore deve svolgere costantemente attività di attacco e di difesa a un ritmo elevato. Barbero-Alvarez et al. hanno riferito che il futsal è uno sport in cui ci sono più fasi ad alta intensità rispetto ad altri sport intermittenti. Anche se il confronto con altri sport ha i suoi limiti, si possono fare alcuni utili paragoni con sport di squadra intermittenti simili, come il calcio, la pallacanestro e la pallamano. Ad esempio, è stato dimostrato che la distanza totale percorsa ad alta intensità e alla massima velocità è maggiore nel futsal rispetto al calcio, alla pallacanestro, o alla pallamano, riflettendo così la natura ad alta intensità del futsal (Naser, Ali, & Macadam, 2017).

La distanza media percorsa dai giocatori di futsal dipende dal tempo di gioco (intervallo 601- 8040 m) (Barbero-Alvarez, Soto, Barbero-Alvarez, & Granda-Vera, 2008). Il rapporto lavoro/riposo nel futsal è di circa 1:1, dove per riposo si intende che il giocatore è fermo, cammina o fa jogging, mentre per lavoro si intende la distanza percorsa a velocità media, alta o massima. L'intensità delle partite di futsal si è dimostrata superiore a quella del calcio, forse come diretta conseguenza della regola delle sostituzioni illimitate. I giocatori professionisti di futsal coprono il 13,7% della distanza totale ad alta intensità (velocità ≥ 15 km/h) e l'8,9% in sprint (velocità ≥ 25 km/h, circa 26 sprint a partita) con i giocatori che eseguono 8,6 attività per minuto di partita. Inoltre, i giocatori eseguono uno sforzo a bassa intensità ogni 14s, uno sforzo a media intensità ogni 37s, uno sforzo ad alta intensità ogni 43s, uno sforzo a massima intensità ogni 56s, e cambiano attività locomotoria (camminare, jogging, sprint) ogni 3,3s. Da questi risultati si può concludere che il futsal è uno sport anaerobico a sprint multiplo in cui l'esercizio ad alta intensità costituisce una proporzione maggiore del tempo di partita rispetto al calcio e ad altri sport a sprint multiplo (Naser, Ali, & Macadam, 2017).

Dal punto di vista cardiocircolatorio, la frequenza cardiaca è superiore all'85% della frequenza cardiaca massima (FCmax) durante oltre l'80% del tempo di gioco effettivo (Ayarra, Nakamura, Iturricastillo, Castillo, & Yanci, 2018), con i giocatori che raggiungono la FCmax nella maggior parte delle partite (Trabelsi, Aouichaoui, Richalet, & Tabka, 2014), a riflettere l'alta intensità delle prestazioni nel futsal. Il

futsal, quindi, richiede un alto coinvolgimento di entrambi i sistemi energetici, sia del sistema anaerobico che da quello aerobico (López-Valenciano, et al., 2019) e inoltre, la velocità, l'agilità e la forza muscolare, sono componenti importanti per l'esecuzione dei gesti fondamentali del futsal (tiro, dribbling, passaggi, recupero palla, difesa) e movimenti (accelerazioni, decelerazioni, cambi di direzione, salti) (Ribeiro, et al., 2020). In particolare, per eseguire in modo efficiente questi specifici movimenti, la capacità della parte inferiore del corpo di esercitare forza ad alta velocità è essenziale. La potenza muscolare degli arti inferiori è una caratteristica fondamentale per il salto e lo sprint negli atleti di sport intermittenti. Mantenere o migliorare la potenza degli arti inferiori può essere essenziale per gli atleti di futsal che eseguono molti sprint ripetuti durante l'allenamento e le partite.

Un dato molto rilevante sia in termini di performance che in termini di rischio di infortunio, è che durante il gioco del futsal, dato che i giocatori eseguono un numero consistente di azioni unilaterali ripetute ad alta intensità (accelerazioni e decelerazioni improvvise, rapidi cambi di direzione e di senso, calciata) (Naser, Ali, & Macadam, 2017), associate alla preferenza laterale (ad esempio, la gamba preferita per calciare), si potrebbero portare i giocatori a sviluppare progressivamente adattamenti dei tessuti molli specifici per il futsal (Maloney, 2019). In particolare, la maggior parte di queste azioni impone carichi di trazione forti e asimmetrici sui muscoli intorno alle articolazioni dell'anca, del ginocchio e della caviglia. Quando queste azioni vengono ripetute più volte durante le sessioni di allenamento e le partite, possono potenzialmente generare cambiamenti nelle proprietà meccaniche (ad esempio, la rigidità) e neurali (ad esempio, la tolleranza alle variazioni della lunghezza a riposo) di uno o alcuni dei gruppi muscolari (principalmente biarticolari) coinvolti (Witvrouw, Mahieu, Danneels, & McNair, 2004).

Pertanto, è plausibile che questi adattamenti muscolari possano portare allo sviluppo di un movimento articolare (ROM) degli arti inferiori specifico per il futsal, caratterizzato dalla presenza di alcuni ROM limitati o ristretti e da significative asimmetrie bilaterali (arto dominante vs. arto non dominante).

Valori ristretti e asimmetrie bilaterali non sono tanto dannosi per le prestazioni fisiche (Domínguez-Díez, et al., 2021), ma aumentano il rischio di lesioni dei tessuti

molli (muscoli, tendini e legamenti) (Afonso, et al., 2020). Gli infortuni dovuti a lesione dei tessuti molli agli arti inferiori avvenuti senza contatto (LE-ST) sono prevalenti nel futsal (46,3%) (Yoshida, , Tateishi, & Morimoto, 2023). Un altro fattore di rischio degli infortuni che avvengono senza contatto è l'incapacità degli atleti di mantenere l'equilibrio, causando lesioni agli arti inferiori, in particolare alla caviglia (Nogueira, et al., 2018).

Secondo i risultati di studi precedenti, la maggior parte degli infortuni subiti dai giocatori di Futsal avvengono durante il cambio di direzione (38,6%) e l'atterraggio (29,5%), ovvero le situazioni in cui il controllo posturale gioca un ruolo più importante nel prevenire il collasso. (Reis, Rebelo, Krstrup, & Brito, 2013).

Pertanto, i disturbi dell'equilibrio, la probabilità di situazioni instabili nei campi, i continui cambi di direzione effettuati dai giocatori durante le gare e gli allenamenti, aumentano il rischio di infortuni dei giocatori di futsal e di conseguenza la capacità di mantenere o ripristinare l'equilibrio è una caratteristica fondamentale per gli atleti. (Shavikloo, Samami, & Norasteh, 2018).

Capitolo 3 – Esperienza sperimentale

3.1 Materiali e metodi

3.1.1 Partecipanti

Il progetto di studio si è svolto in un periodo compreso tra Ottobre 2023 e Gennaio 2024.

La popolazione esaminata è stata scelta seguendo specifici criteri di inclusione/esclusione che garantiscono una maggiore validità dei dati registrati in fase di valutazione. Il gruppo di studio è stato scelto prendendo in considerazione:

- Ragazzi e ragazze sani appartenenti ad una società sportiva, praticanti tutti la stessa disciplina e con un'età compresa tra i 14 e 20 anni;
- Tutti i ragazzi/e che rispettassero questi requisiti sono stati sottoposti a valutazione odontoiatrica specialistica a carico del dott. Malfatto e sono stati selezionati tutti quelli che presentassero una forma di deglutizione disfunzionale non complicata da impedimenti strutturali (deglutizione disfunzionale da frenulo linguale corto);

Nel mese di Dicembre 2023 la società "Marcianise Futsal Academy" ha acconsentito il coinvolgimento dei propri atleti al progetto di ricerca, permettendogli di accedere alle valutazioni preliminari; n. 40 atleti di cui 39 maschi e 1 femmina sono stati sottoposti a valutazione odontoiatrica specialistica (Tabella 4).

Tabella 4 - Numero degli atleti coinvolti nelle valutazioni preliminari con età.

Atleti coinvolti	Età
Totale (n.40)	16±2
Maschi (n.39)	16±2
Femmine (n.1)	15

Tabella 5 - Numero soggetti inclusi nel progetto di ricerca con riferimento all'età.

Positivi test odontoiatrici	Età
Totale (n.16)	15±2
Maschi (n.15)	15±2
Femmine (n.1)	15

Degli atleti testati sono risultati idonei per tutti i criteri di inclusione n. 16, rappresentati da n. 15 maschi e n.1 femmina (Tabella 5). Tale gruppo è stato poi suddiviso in maniera randomizzata in: gruppo sperimentale (n.9 partecipanti) e gruppo di controllo (n.7 partecipanti). Durante la prima fase sperimentale n.4 atleti, di cui n.3 appartenenti al gruppo sperimentale e n.1 al gruppo controllo, sono stati soggetti ad infortunio; tali soggetti sono stati esclusi dalla sperimentazione del presente studio. Il totale quindi dei partecipanti allo studio diviso nei due gruppi risulta essere: n.6 per gruppo sperimentale e n. 6 per gruppo controllo (Tabella 6).

Tabella 6 - Suddivisione dei partecipanti in “gruppo sperimentale” e “gruppo di controllo” con riferimento all’età dei partecipanti.

Gruppo sperimentale	Età
Totale (n.6)	15±2
Maschi (n.6)	15±2
Gruppo di controllo	Età
Totale (n.6)	15±2
Maschi (n.6)	15±2

Per la partecipazione è stato richiesto a tutti i soggetti di firmare un consenso informativo; per i soggetti minorenni è stata richiesta l’autorizzazione con firma da parte dei genitori.

3.1.2 Strumentazione

Froggymouth

Il *Froggymouth* è un piccolo apparecchio rimovibile costituito da un elastomero termoplastico flessibile, senza lattice o ftalati (Figura 16). È disponibile in 3 misure con differenti colori: S (blu), M (rosso) e L (viola) (Figura 17). L'apparecchio ha una piccola lettera stampata nella parte inferiore e un punto nella parte superiore. Per scegliere la giusta dimensione, l'apparecchio ha un calibro dedicato specifico.

Meccanismo d’azione

Il *Froggymouth* ci aiuta ad interrompere il circuito patologico della deglutizione/suzione impedendo il contatto bilabiale e obbligando la lingua a posizionarsi nel modo corretto. Questo nuovo schema deglutitorio permetterà

l'instaurarsi di una nuova traccia mnemonica e ciò avverrà a livello subcorticale provocando modificazioni biochimiche permanenti a livello delle sinapsi.

Infatti, non potendo stringere le labbra, non si riesce a deglutire per aspirazione, aspirando tra la parte anteriore della bocca e la parte posteriore della bocca, innescando una reazione improvvisa e immediata a livello del tronco cerebrale, ovvero trovare un nuovo programma per la deglutizione. Di fronte a questa nuova situazione, il soggetto impiega i modelli che ha a disposizione. Se non hanno un modello adatto alla nuova situazione, dovranno generarne uno nuovo. Ciò equivale ad un apprendimento incidentale e quasi immediato. La concomitanza della contrazione dei muscoli levatori della mandibola in un'occlusione dentale stabile e confortevole con quelli del palato molle e dello stiloglosso consente il movimento peristaltico della lingua (purché l'ambiente anatomico trasversale e verticale siano compatibili) e disconnessione della sincinesi labiale. Questo nuovo programma di deglutizione si integra immediatamente nella memoria a lungo termine creando un nuovo circuito neuronale. È, tuttavia, solo il primo passo, che è necessario ma non sufficiente per passare all'automazione (Gérard, 2010).

Automatizzazione

Il soggetto ha quindi due programmi disponibili per ingoiare la saliva. Il terapeuta, quindi, deve monitorare la postura a riposo per ottenere il rilassamento dei muscoli periorali e l'occlusione dentale dopo la deglutizione. Il controllo da parte del nervo trigemino che viene sollecitato in questa fase sostituisce il controllo da parte del nervo facciale e inibisce il ruolo di quest'ultimo. Il nervo trigemino promuove il ripristino della respirazione nasale, permettendo alla parte posteriore della lingua di adottare una postura elevata (una cupola linguale).

Modalità d'uso

Il *Froggymouth* dovrebbe essere posizionato tra le labbra e i denti lasciando circa 2 mm dalla frattura labiale su entrambi i lati. Va usato 15 minuti al giorno (per attivare i circuiti neuronali che generano movimenti automatici controllati dal nervo trigemino) deve essere usato sempre durante un'attività ludica. Il protocollo richiede di mantenere una corretta posizione della testa parallela al pavimento. Kandel ha evidenziato che, in questo caso, abbiamo un'eccitazione delle sinapsi

(neurotrasmettitori), la cui attività è passeggera, mentre se l'apprendimento è d'origine sottocorticale, in maniera involontaria (automatismo), si nota un aumento, in termini numerici, delle sinapsi che stabilizzano in maniera perenne le nuove acquisizioni. “Quando si lavora sul subconscio non c'è necessità di lavorare a lungo quanto piuttosto in modo costante” (Kandel, 2017).

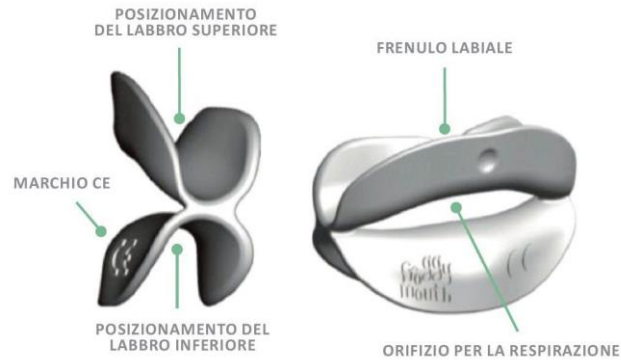


Figura 16 – Struttura del Froggymouth (Cernusco dental clinic)



Figura 17 - Diverse misure del Froggymouth: L- adulti oltre i 12 anni; M- medium dai 6/7 anni agli 11/12 anni; S- small dai 3 anni e mezzo ai 6/7 anni.

3.1.3 Test di valutazione

Active Straight Leg Raise (ASLR)

L'Active Straight Leg Raise test (ASLR test) è un test funzionale che ricopre un ruolo determinante nella valutazione e nel processo diagnostico dei pazienti con disturbi lombo-pelvici, in grado di valutare la capacità del cingolo pelvico di

trasmettere le forze dal tronco agli arti inferiori (Mens, et al., 2002; Mens, Vleeming, Snijders, Koes, & Stam, 2002). Esso rappresenta, nella pratica clinica, l'evoluzione del Test di Lasegue usato per la diagnosi di irritazione delle radici nervose in L4-L5-S1 e del nervo sciatico (ischiatico). Originariamente l'ASLR test veniva usato per valutare la capacità delle articolazioni sacroiliache di trasferire efficacemente i carichi tra il bacino e le gambe nelle donne con dolore pelvico correlato alla gravidanza (Pelvic Girdle Pain o PGP) e in modo specifico nel post-partum (Mens, Vleeming, Snijders, Stam, & Ginai, 1999; Snijders, Vleeming, & Stoeckart, 1993).

Nel corso degli anni vari studi hanno validato l'efficacia dell'ASLR anche come test utile nell'iter diagnostico dei pazienti con "dolore al rachide lombare" (Low Back Pain o LBP) (Liebenson, Karpowicz, Brown, Howarth, & McGill, 2009; Roussel, Nijs, Truijen, Smeuninx, & Stassijns, 2007) e come test di provocazione del dolore nei pazienti con sintomi o segni di instabilità lombo-pelvica e quindi più semplicemente come strumento di valutazione del dolore del cingolo pelvico.

Varie Linee Guida e tra queste quelle della Società Italiana di Ortopedia e Traumatologia (SIOT), raccomandano l'utilizzo del test ASLR come parte integrante di una serie di test nella diagnostica differenziale delle varie forme di radicolopatie periferiche.

Il Test ASLR viene somministrato come indicato in letteratura (Mens, Vleeming, Snijders, Stam, & Ginai, 1999): il soggetto è in posizione supina con i piedi (senza calzature) ad una distanza di circa 20 cm l'uno dall'altro; quindi, l'esaminatore chiede al soggetto di flettere l'anca a ginocchio esteso raggiungendo la massima escursione possibile. Il test è stato somministrato, sia per il gruppo controllo sia per il gruppo sperimentale, eseguendo la flessione prima con l'arto inferiore sinistro e poi con il destro. Tutte le prove sono state videoregistrate tramite dispositivo cellulare (iPhone 14 Pro, Apple) con video 30 Fps. Il dispositivo è stato posizionato a distanza prestabilita (2,50 mt) dal soggetto testato. I file video sono stati processati e analizzati tramite software di videoanalisi Kinovea. È stata, dunque, misurata e registrata (in gradi °) la massima flessione per entrambi gli arti.

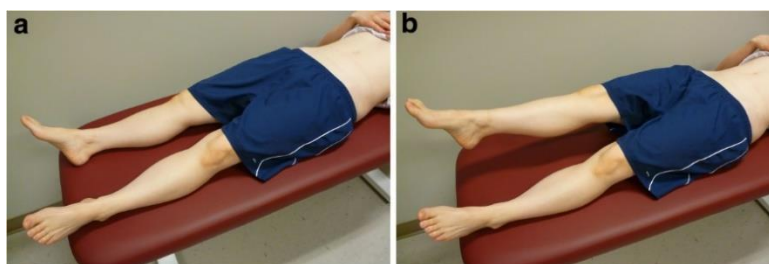


Figura 18 - Le posizioni iniziale (a) e finale (b) per l'ASLR test. Il partecipante è supino con entrambe le gambe in contatto con la panca nella posizione iniziale (a). La gamba destra del partecipante è stata sollevata dalla panca nella posizione finale (b).

Fondamentalmente l'ASLR Test possiamo considerarlo come una prova sotto stress della capacità di trasferire il carico dal tronco agli arti inferiori.

Durante i test, la valutazione della caratteristica soggettiva primaria della pesantezza della gamba (o del dolore) è completata dall'osservazione degli adattamenti del controllo motorio (MC) come l'interruzione respiratoria e il rinforzo addominale (O'Sullivan, et al., 2002; Beales, O'Sullivan, & Briffa, 2009).

Y Balance Test (YBT)

Il test dell'equilibrio Y (YBT) è uno strumento portatile ed economico progettato per misurare l'equilibrio dinamico. È stato sviluppato dallo *Star Excursion Balance Test* (SEBT) per migliorare la ripetibilità della misurazione della portata e standardizzare le prestazioni del test (Plisky, et al., 2009). In particolare, l'Y Balance Test (YBT) è un test per valutare il controllo dell'equilibrio dinamico, ampiamente utilizzato nella pratica clinica e nella ricerca (Johnston, et al., 2016).

L'equilibrio dinamico si riferisce alla capacità di mantenere l'equilibrio durante l'esecuzione di azioni che includono movimenti del centro di massa al di fuori della base di appoggio. Ad esempio, l'YBT è stato utilizzato per determinare il rischio di infortunio di una persona (Johnston, et al., 2019) o di ritorno alla preparazione sportiva (Mahato, Johnston, & Cunningham, 2019). Questo test valuta l'equilibrio della singola gamba, il controllo neuromuscolare dinamico, la propriocezione e la forza mentre un individuo raggiunge le tre direzioni con l'arto non in posizione (anteriore, posteromediale e posterolaterale).

Durante il test viene mantenuta la posizione unilaterale sostenendo il corpo su un arto, il che richiede una forte attivazione dei muscoli dell'anca. L'articolazione dell'anca, che è un'articolazione sferica consente il movimento triplanare del femore rispetto al bacino (Neumann , 2010). Pertanto, l'YBT misura anche la stabilità e forza d'anca (Wilson, et al., 2018).

Il test è stato predisposto posizionando tre strisce di nastro adesivo a Y sul terreno. Gli angoli tra la striscia anteriore e le due strisce posteriori sono di 135° con 45° tra le due strisce posteriori.

L'YBT consiste nel passare da una posizione bipodolica iniziale (punto zero) a una posizione monopodolica neutra e nel mantenere l'equilibrio controllato mentre si utilizza l'arto inferiore sollevato per raggiungere la massima distanza dal punto zero nelle tre direzioni standardizzate. Il soggetto, senza calzature, deve eseguire tre prove in piedi sul piede destro, raggiungendo le direzioni anteriore, posteromediale e posterolaterale. Per ogni esecuzione è stato richiesto al soggetto di tornare in posizione monopodolica neutra. Questa procedura è stata ripetuta per il piede sinistro. Il nastro deve essere toccato solo leggermente con le dita dei piedi e l'esaminatore segna il punto di contatto più distale sul nastro. Una prova non è considerata completa se il partecipante tocca pesantemente il nastro, si ferma a metà, deve entrare in contatto con il terreno per mantenere l'equilibrio o sposta il piede dell'arto di appoggio.

La Figura 19 mostra un individuo che esegue l'YBT, un diagramma delle direzioni anteriore, posteromediale e posterolaterale. Il soggetto deve ritornare alla posizione bilaterale iniziale in modo controllato.

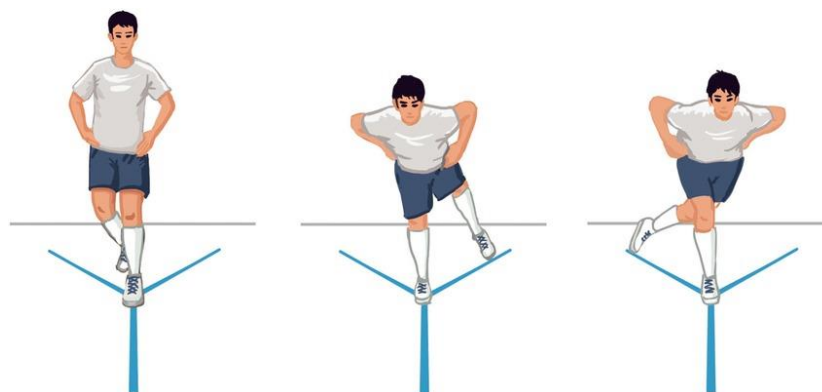


Figura 19 – Y Balance Test (Guo, et al., 2021).

Counter Movement Jump (CMJ)

Il Counter Movement Jump (CMJ) è un test di salto verticale che permette di misurare la forza esplosiva degli arti inferiori del corpo. Questo test è molto affidabile nel fornire informazioni sulla forza reattiva degli arti inferiori (Young, 1995).

Il test CMJ (monopodalico) viene analizzato utilizzando pedane da contatto, accelerometri o analisi video; è possibile eseguire questo test anche utilizzando una videocamera e relativo software, Kinovea, che permette di valutare anche l'angolo di piegamento.

L'ambiente dove viene eseguito deve essere idoneo al fine di evitare che condizioni atmosferiche o superfici bagnate/scivolose possano ostacolare l'esecuzione. Bisogna decidere prima di iniziare il test se includere o meno l'uso del braccio-swing, poiché potrebbe migliorare le prestazioni del 10% (Cheng, Wang, Chen, Wu, & Chiu, 2008). Il CMJ è caratterizzato da un contromovimento iniziale (CM) prima della fase di stacco (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996).

Nel presente studio l'esecuzione del test prevede, senza uso di calzature, la partenza dalla posizione eretta, in appoggio su una gamba e le mani sui fianchi. Da questa posizione, i soggetti sono stati istruiti a piegare velocemente la gamba di appoggio fino ad un angolo approssimativamente di 90° per poi eseguire un salto verticale e cercare di esprimere la massima capacità di elevazione. Durante la fase di volo non è consentito flettere le ginocchia e la fase di atterraggio deve essere eseguita approssimativamente nello stesso punto di stacco.

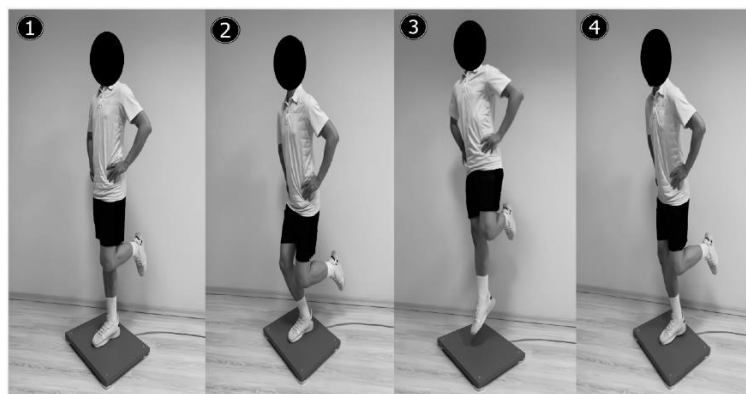


Figura 20 – Fasi del test Counter Movement Jump (Pamuk, et al., 2023).

Nell'esecuzione del test vengono osservate varie fasi:

- La fase di volo è il momento essenziale per la valutazione, dove il focus visivo è orientato in avanti. L'atleta deve prendere coscienza del proprio corpo estendere le gambe e le punte dei piedi.
- La fase dell'atterraggio, ovvero la fase di contatto con il suolo, è importante perché l'atleta non deve saltare in avanti ma bensì cercare di ricadere nello stesso punto da dove è partito.

3.1.4 Procedura

Tempo 0 (T0)

Tutti i soggetti idonei sono stati convocati in data 29 Dicembre 2023 presso la struttura "Pala G. Noia" di Marcianise (CE) per effettuare i test prestativi nella sequenza riportata qui di seguito:

1. Active Straight Leg Raise;
2. Y Balance test;
3. Counter Movement Jump.

Successivamente è stato chiesto di compilare in sito un questionario di inizio trattamento, fornito dall'azienda *Froggy-mouth*, attraverso la piattaforma Google moduli. Al gruppo sperimentale è stato consegnato il dispositivo *Froggy-mouth* e chiesto di rispettare il seguente protocollo sperimentale: indossare il *Froggy-mouth* per 15 minuti al giorno durante lo svolgimento di attività ricreative (leggere, guardare la Tv, osservare gli allenamenti dei compagni ecc..). L'intero trattamento è stato monitorato attraverso comunicazioni giornaliere e compilazione di sondaggi da parte dei soggetti del gruppo sperimentale, i quali dovevano comunicare quando stavano indossando il dispositivo.

Tempo 1 (T1)

In data 29 Gennaio 2024 si sono svolti i primi test per valutare eventuali variazioni in ambito prestazionale rispettando tempi e modalità di esecuzione dei test sopra citati (Figura 21).

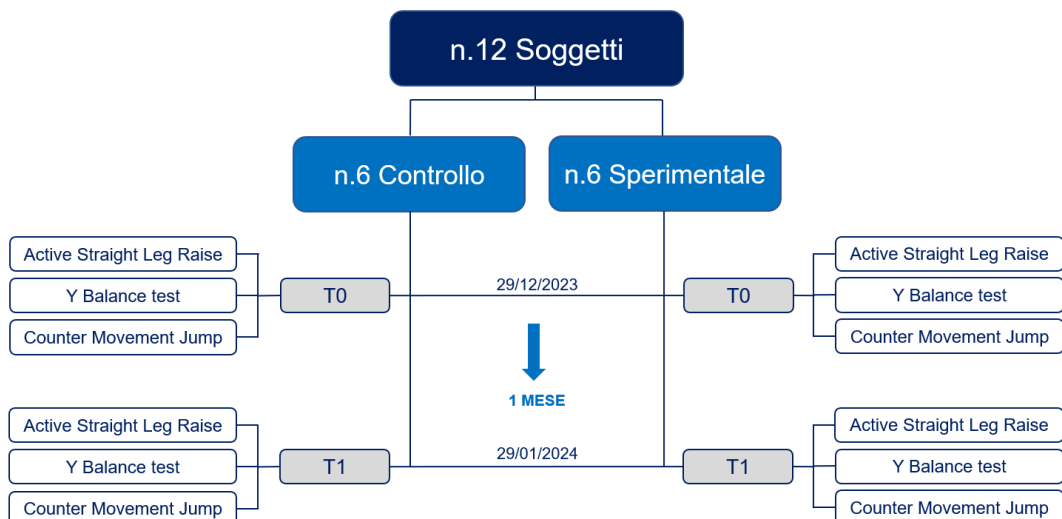


Figura 21 – Disegno dello studio

3.2 Analisi

Per l'analisi sono state misurate le variazioni della massima flessione d'anca, riportate in gradi (°) nel test Active Straight Leg Raise. Per la misurazione del test YBT si è calcolato la distanza media di raggiungimento in ogni direzione in centimetri (cm), prendendo la media delle due prove per ogni direzione. Per il test Counter Movement Jump è stata calcolata l'altezza massima di salto (h) su due prove, determinata in centimetri (cm) con la seguente formula (Bosco, Luhtanen, & Komi, 1983):

$$h = \frac{t^2 * g}{8}$$

dove t = il tempo (s) di volo durante il salto, ricavato con software Kinovea (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, del Campo-Vecino, & Bavaresco, 2014); g = accelerazione gravitazionale (9,81 m/s²).

Tutti i dati sono stati rilevati nei due momenti di test, T0 e T1, sia per i soggetti del gruppo sperimentale sia per i soggetti del gruppo controllo. Abbiamo calcolato la media e la deviazione standard e confrontato i dati. È stato utilizzato il t-test per dati appaiati (Shapiro-Wilk test) per rilevare qualsiasi differenza sistematica tra le sessioni di test (affidabilità). La significatività statistica è stata fissata a p < 0,05.

3.3 Risultati

Le sigle utilizzate sono: per i soggetti del gruppo controllo (gruppo CTRL); per i soggetti del gruppo sperimentale (SP); per l'arto destro (DX); per l'arto sinistro (SX); T0 per i test effettuati in data 29 Dicembre 2023; T1 per i test effettuati dopo il trattamento in data 29 Gennaio 2024. Nell'esposizione che segue i risultati verranno mostrati secondo questo ordine: gruppo sperimentale arto destro in T0 e T1; arto sinistro in T0 e T1; gruppo controllo arto DX in T0 e T1; arto sinistro in T0 e T1. Per ogni gruppo verrà riportato media (deviazione standard) nelle tabelle inserite nel testo; per i valori percentuali e una visione completa dei dati si rimanda alle tabelle poste in Appendice (V. Appendice).

Tabella 7 – Active Straight Leg Raise (°), Y Balance Test (cm), Counter Movement Jump (cm). I valori sono espressi come medie \pm DS del gruppo sperimentale (Gr. SP) e del gruppo controllo (Gr. CTRL).

		T0		T1		Differenze T1-T0	
		Arto DX	Arto SX	Arto DX	Arto SX	DX	SX
Active Straight Leg Raise (°)	Gr. SP	55,2 \pm 9,5	54,6 \pm 8,1	64,8 \pm 7,2	61,6 \pm 8,1	9,6 *	7,0 *
	Gr. CTRL	51,7 \pm 7,6	52,7 \pm 13,1	53,4 \pm 6,7	52,5 \pm 9,9	1,7	-0,2
Y Balance Test (cm)	Gr. SP	55,4 \pm 6,6	54,3 \pm 7,2	63,0 \pm 5,5	63,6 \pm 4,5	7,6*	9,3*
	Gr. CTRL	61,0 \pm 7,1	61,5 \pm 7,0	65,8 \pm 5,1	66,8 \pm 5,1	4,8	5,3
Counter Movement Jump (cm)	Gr. SP	11,6 \pm 4,6	10,1 \pm 3,5	14,1 \pm 3,2	14,6 \pm 3,4	2,5*	4,5*
	Gr. CTRL	12,6 \pm 5,1	12,3 \pm 2,5	12,8 \pm 2,4	12,1 \pm 2,1	0,2	-0,2

*p < 0,05

Risultati del test Active Straight Leg Raise

La massima flessione d'anca nel gruppo sperimentale ha riportato valori di DX-T0 55,2° (\pm 9,5°), DX-T1 64,8° (\pm 7,2°) e di SX-T0 54,6° (\pm 8,1°), SX-T1 61,6° (\pm 8,1°). Nel gruppo controllo ha mostrato valori di DX-T0 51,7° (\pm 7,6°), DX-T1 53,4° (\pm 6,7°) e di SX-T0 52,7° (\pm 13,1°), SX-T1 52,5° (\pm 9,9°) (Tabella 7).

La massima flessione d'anca da T0 a T1 ha mostrato nel gruppo sperimentale un incremento statisticamente significativo in entrambi gli arti, DX 17,5% (p-value < 0,05) e SX 12,7% (p-value < 0,05); i soggetti del gruppo controllo non hanno

riportato incrementi rilevanti sia per l'arto DX 3,3% e sia per l'arto SX -0,3% (Figura 22).

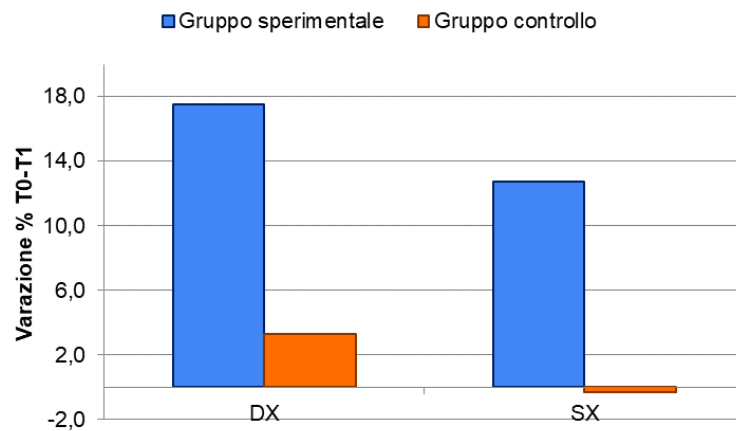


Figura 22 – Variazione % Active Straight Leg Raise T0-T1

Risultati del test Y Balance Test (YBT)

L'Y Balance Test nel gruppo sperimentale ha riportato valori di DX-T0 55,4cm (\pm 6,6cm), DX-T1 63,0cm (\pm 5,5cm) e di SX-T0 54,3cm (\pm 7,2cm), SX-T1 63,6cm (\pm 4,5cm). Nel gruppo controllo ha mostrato valori di DX-T0 61,0cm (\pm 7,1cm), DX-T1 65,8cm (\pm 5,1cm) e di SX-T0 61,5cm (\pm 7,0cm), SX-T1 66,8cm (\pm 5,1cm) (Tabella 7).

La capacità di equilibrio dinamico da T0 a T1 ha mostrato nel gruppo sperimentale un incremento statisticamente significativo in entrambi gli arti, DX 13,7% (p-value < 0,05) e SX 17,1% (p-value < 0,05); i soggetti del gruppo controllo hanno riportato incrementi lievi sia per l'arto DX 7,9% e sia per l'arto SX 8,7% (Figura 23).

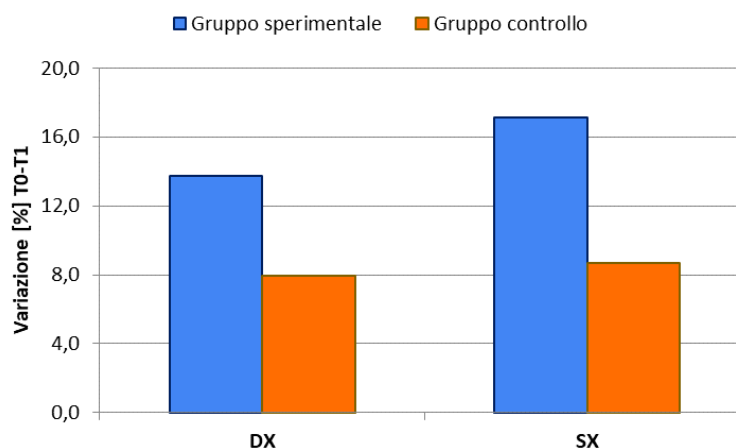


Figura 23 – Variazione % Y Balance Test T0-T1

Risultati del test Counter Movement Jump (CMJ)

Il test Counter Movement Jump nel gruppo sperimentale ha riportato valori di DX-T0 11,6cm (\pm 4,6cm), DX-T1 14,1cm (\pm 3,2cm) e di SX-T0 10,1cm (\pm 3,5cm), SX-T1 14,6cm (\pm 3,4cm). Nel gruppo controllo ha mostrato valori di DX-T0 12,6cm (\pm 5,1cm), DX-T1 12,8cm (\pm 2,4cm) e di SX-T0 12,3cm (\pm 2,5cm), SX-T1 12,1cm (\pm 2,1cm) (Tabella 7).

La capacità di generare forza esplosiva negli arti inferiori da T0 a T1 ha mostrato nel gruppo sperimentale un forte incremento statisticamente significativo in entrambi gli arti, DX 21,1% (p-value < 0,05) e SX 44,4% (p-value < 0,05); i soggetti del gruppo controllo non hanno riportato incrementi rilevanti sia per l'arto DX 1,7% e sia per l'arto SX -1,4% (Figura 24).

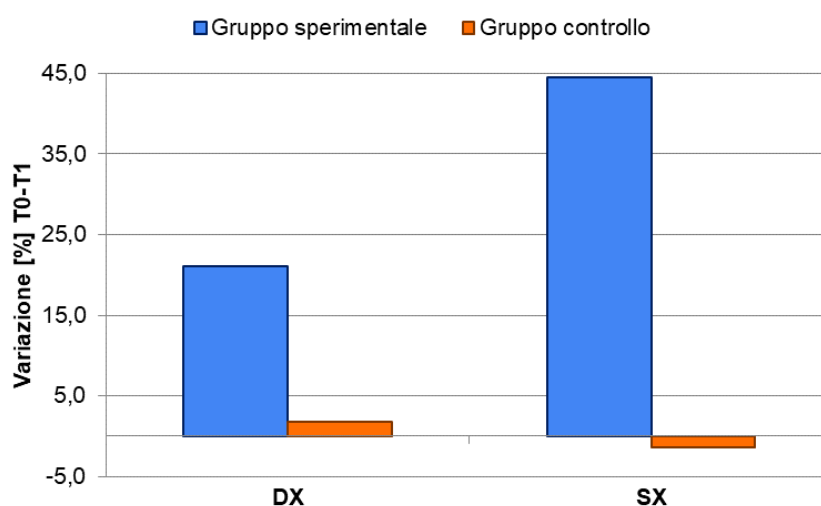


Figura 24 – Variazione % Counter Movement Jump T0-T1

3.4 Discussione e conclusioni

L'obiettivo del presente studio è stato quello di indagare i possibili effetti del trattamento della deglutizione disfunzionale sulla prestazione sportiva in giovani atleti. È stato quindi proposto un protocollo giornaliero che prevedeva l'utilizzo del dispositivo *Froggy-mouth* su una popolazione di giovani atleti di Futsal.

La prestazione sportiva è stata analizzata nelle componenti di mobilità, equilibrio e forza, mediante i rispettivi test motori: Active Straight Leg Raise, Y balance test e Counter Movement Jump.

Effetti del trattamento sulla mobilità - Active Straight Leg Raise

Nell'indagare la mobilità è stato osservato che il gruppo sperimentale dopo un mese di trattamento (T0-T1) ha mostrato un incremento delle performance maggiori rispetto al gruppo controllo; nel dettaglio il gruppo sperimentale ha aumentato il Range of Motion (ROM) articolare di flessione d'anca del 17,5% e 12,7%, mentre per il gruppo controllo l'incremento è risultato del 3,3% e -0,3%, rispettivamente per arto destro e arto sinistro. Da questi dati ottenuti sembrerebbe che l'utilizzo del *Froggy-mouth*, al fine di rieducare la deglutizione disfunzionale, possa avere effetti positivi sulle performance di mobilità articolare.

La mancanza di studi simili precedenti rende difficile un confronto diretto con i dati rilevati in questo studio sulla diretta correlazione tra deglutizione e performance di mobilità. Tuttavia, quanto riportato da Scoppa & Pirino riguardo la sindrome glossoposturale potrebbe spiegare questa relazione tra deglutizione e mobilità articolare. Gli autori, infatti, evidenziano la presenza di alterazioni su base neurofisiologica dei muscoli appartenenti alla catena linguale nei soggetti con deglutizione disfunzionale che possono provocare uno squilibrio tonico-posturale: il risultato di questa alterazione è un'antiversione del bacino, con un aumento della lordosi lombare. Per ridurre la tendenza alla rotazione pelvica si attiva un meccanismo di compenso che provoca la retrazione dei muscoli ischio-crurali (Scoppa & Pirino, 2019); ciò potrebbe limitare le performance di mobilità della flessione d'anca secondo il principio di innervazione reciproca di Sherrington.

L'applicazione del *Froggymouth* è sembrata essere in grado di disattivare l'iperattivazione degli estensori d'anca consentendo, quindi, l'interruzione del circuito di inibizione a carico dei muscoli flessori d'anca.

Effetti del trattamento sull'equilibrio - Y balance test

I risultati del Y balance test mostrano che il gruppo sperimentale dopo un mese di trattamento (T0-T1) ha mostrato un incremento delle performance maggiori rispetto al gruppo controllo; nel dettaglio il gruppo sperimentale ha aumentato la capacità di equilibrio dinamico del 13,7% e 17,1%, mentre per il gruppo controllo l'incremento è risultato del 7,9% e del 8,7% rispettivamente per arto destro e arto sinistro. Da questi dati ottenuti sembrerebbe che l'utilizzo del *Froggymouth*, al fine di rieducare la deglutizione disfunzionale, possa avere effetti positivi sulle performance di equilibrio dinamico.

Come confermato dalla letteratura esiste una forte correlazione tra la funzionalità linguale ed il mantenimento dell'equilibrio: Wildenberg et al che hanno rilevato un miglioramento dell'equilibrio tramite neuromodulazione dei nervi cranici (Wildenberg, Tyler, Danilov, Kaczmarek, & Meyerand, 2010); Alghadir et al., tramite posizionamento della lingua allo spot (Alghadir, Zafar, & Iqbal, 2015). In entrambi gli studi la variazione dell'informazione al sistema nervoso proveniente dalla stimolazione palatina e linguale ha prodotto un'attivazione sottocorticale e corticale della rete di elaborazione dell'equilibrio, migliorandone le performance. In analogia con questi risultati il trattamento con *Froggymouth*, nel presente studio, è in grado di influenzare positivamente l'assetto posturale e dunque l'equilibrio dinamico.

Effetti del trattamento sulla forza – Counter Movement Jump

I risultati del Counter Movement Jump (CMJ) mostrano che il gruppo sperimentale dopo un mese di trattamento (T0-T1) ha mostrato un incremento delle performance maggiori rispetto al gruppo controllo; nel dettaglio il gruppo sperimentale ha aumentato la capacità di generare forza esplosiva del 21,1% e 44,4%, mentre per il gruppo controllo l'incremento è risultato del 1,7% e del -1,4% rispettivamente per arto destro e arto sinistro. Da questi dati ottenuti sembrerebbe che l'utilizzo del

Froggy-mouth, al fine di rieducare la deglutizione disfunzionale, possa avere effetti positivi sulle performance di forza esplosiva degli arti inferiori.

La posizione della lingua potrebbe quindi rientrare tra le variabili posturali che influenza i test di forza muscolare degli arti inferiori come confermato anche da di Vico et al. che hanno riportato un aumento significativo della forza durante test isocinetico nella flessione del ginocchio, quando la lingua era posizionata allo spot palatino (di Vico, Ardigò, Salernitano, Chamari, & Padulo, 2014). Il protocollo sperimentale utilizzato in questo studio, che tramite la somministrazione del *Froggy-mouth* favoriva il posizionamento della lingua allo spot palatino, ha prodotto risultati analoghi a quelli di di Vico et al.

Limiti della ricerca

Tra i limiti del presente studio troviamo: il campione ridotto di soggetti testati, 12 atleti, 6 del gruppo controllo e 6 del gruppo sperimentale; la durata dello studio, poiché di norma un trattamento di deglutizione disfunzionale dovrebbe essere esteso per un tempo maggiore, al fine di rieducare la corretta attività deglutitoria; la modalità di monitoraggio del trattamento del gruppo sperimentale, che per necessità è avvenuto a distanza mediante comunicazione giornaliera tramite messaggistica Whatsapp, che effettivamente non dà completa certezza dell'utilizzo del dispositivo *Froggy-mouth*. In ultimo esame, le stesse abilità motorie indagate potrebbero non rappresentare nel totale la prestazione sportiva presa in esame.

Ricerca futura

Ricerche future potrebbero estendere il protocollo sperimentale a campioni di popolazione più ampi, omogenei o anche disomogenei, indagando quindi l'effetto del trattamento anche su popolazioni diverse per età, sesso, disciplina sportiva, ecc. Si potrebbe inoltre proporre uno studio che analizzi le variazioni prestative con un trattamento a lungo termine.

La ricerca, inoltre, dovrebbe prevedere un monitoraggio più efficace, come l'uso di videoregistrazioni durante l'utilizzo del dispositivo *Froggy-mouth*, in modo da valutare anche il corretto posizionamento del dispositivo e la postura assunta durante il trattamento. Si potrebbe inserire un protocollo specifico per le abilità

motorie prese in considerazione. Le stesse abilità motorie potrebbero essere ampliate e analizzate attraverso strumenti professionali specifici per la valutazione della prestazione sportiva (GPS, accelerometri, ecc.). Un ultimo interessante spunto per ricerche future, è integrare ai test prestazionali anche test posturali, vista la relazione tra la deglutizione e il sistema tonico-posturale (Scoppa, 2005).

Conclusioni

Questo studio è risultato dal comune interesse dei membri del gruppo di ricerca sull'interazione tra apparato stomatognatico, in particolare la lingua, postura e prestazioni sportive. Dunque, scopo del presente studio è stato quello di analizzare e testare sul campo come la correzione di una deglutizione disfunzionale/atipica, mediante l'utilizzo del dispositivo *Froggymouth*, potesse influenzare alcune componenti della prestazione sportiva su un gruppo di giovani atleti praticanti il Futsal.

La ricerca ha previsto una prima valutazione delle capacità prestantive dei 12 soggetti idonei alla partecipazione e una seconda valutazione di tutti i partecipanti dopo 1 mese dalla somministrazione del *Froggymouth* su un campione sperimentale di n. 6 atleti. In particolare, sono state analizzate le capacità di: Mobilità - attraverso l'esecuzione dell'Active Straight Leg Raise; Equilibrio – mediante l'Y balance test; Forza esplosiva – utilizzando il Counter Movement Jump. Nelle due fasi di valutazione è stato richiesto, inoltre, di compilare un questionario. I dati registrati sono, poi, stati valutati e messi a confronto.

Dopo un mese di trattamento il gruppo sperimentale ha mostrato notevoli incrementi sia nella massima flessione d'anca, sia nella capacità di equilibrio dinamico e sia nella capacità di generare forza esplosiva. Il gruppo controllo, invece, ha riportato incrementi lievi o poco rilevanti nelle tre capacità prese in considerazione.

Dall'analisi della letteratura esiste dunque un rapporto tra apparato stomatognatico e mobilità (Scoppa & Pirino, 2019), equilibrio (Alghadir, Zafar, & Iqbal, 2015) e forza esplosiva (di Vico, Ardigò, Salernitano, Chamari, & Padulo, 2014), che influenza le prestazioni di queste capacità. Il presente studio ha esplorato questo rapporto prendendo in considerazione la deglutizione nella sua forma disfunzionale,

trattandola attraverso l'utilizzo del *Froggymouth* e quello che si è osservato è che la correzione del meccanismo della deglutizione sembra influenzare positivamente lo sviluppo delle capacità di mobilità, equilibrio e forza esplosiva.

Appendici

Risultati Test Active Straight Leg Raise

Active Straight Leg Raise (°)				
Gruppo sperimentale				
Codice Soggetto	DX		SX	
	T0	T1	T0	T1
1	72,1	78,0	64,4	67,1
5	61,0	63,4	61,8	69,1
7	49,3	67,2	58,6	64,8
10	48,8	61,9	50,9	65,4
12	48,3	57,9	47,8	54,6
13	51,6	60,5	44,2	48,5
MEDIE	55,2	64,8	54,6	61,6
DEV_ST	9,5	7,2	8,1	8,1

Active Straight Leg Raise (°)				
Gruppo controllo				
Codice Soggetto	DX		SX	
	T0	T1	T0	T1
2	51,2	50,1	48,7	50,4
3	59,2	64,1	72,1	70,0
4	62,8	58,9	57,5	55,1
6	46,3	46,3	45,0	44,0
8	46,5	50,2	58,6	53,2
15	44,3	51,0	34,2	42,5
MEDIE	51,7	53,4	52,7	52,5
DEV_ST	7,6	6,7	13,1	9,9

Risultati Test Y Balance Test

Y Balance Test (cm)				
Gruppo sperimentale				
Codice Soggetto	DX		SX	
	T0	T1	T0	T1
1	59,3	68,6	61,2	67,3
5	55,5	63,9	54,0	64,1
7	55,0	69,2	55,3	68,9
10	55,9	59,9	47,8	62,0
12	43,5	54,6	44,5	56,1
13	63,2	61,9	62,8	63,0
MEDIA	55,4	63,0	54,3	63,6
DEV_ST	6,6	5,5	7,2	4,5

Y Balance Test (cm)				
Gruppo controllo				
Codice Soggetto	DX		SX	
	T0	T1	T0	T1
2	50,0	63,0	49,3	62,4
3	61,2	64,1	68,8	66,6
4	68,2	76,0	65,2	76,8
6	62,8	64,7	62,7	64,9
8	55,7	62,7	57,5	64,8
15	68,0	64,4	65,3	65,3
MEDIA	61,0	65,8	61,5	66,8
DEV_ST	7,1	5,1	7,0	5,1

Risultati Test Counter Movement Jump

Counter Movement Jump (cm)				
Gruppo sperimentale				
Codice Soggetto	DX		SX	
	T0	T1	T0	T1
1	15,0	18,2	13,4	18,2
5	6,5	10,0	7,7	11,0
7	18,2	16,8	12,6	15,0
10	7,7	11,0	4,9	10,0
12	8,9	13,4	8,9	16,8
13	13,4	15,0	13,4	16,8
MEDIA	11,6	14,1	10,1	14,6
DEV_ST	4,6	3,2	3,5	3,4

Counter Movement Jump (cm)				
Gruppo controllo				
Codice Soggetto	DX		SX	
	T0	T1	T0	T1
2	7,7	13,4	13,4	12,2
3	6,5	12,2	7,7	11,0
4	16,8	13,4	12,2	12,2
6	13,8	10,0	12,2	8,9
8	19,6	16,8	15,0	15,0
15	11,0	11,0	13,4	13,4
MEDIA	12,6	12,8	12,3	12,1
DEV_ST	5,1	2,4	2,5	2,1

Bibliografia

- Afonso, J., Bessa Pereira, C., Pinto, F., Ribeiro, D., Moura, B., Rocha, T., . . . Clemente, F. (2020). Injury Prevention: From Symmetry to Asymmetry, to Critical Thresholds. *Asymmetry as a Foundational and Functional Requirement in Human Movement*, 27-31.
- Alghadir, A., Zafar, H., & Iqbal, Z. (2015). Effect of tongue position on postural stability during quiet standing in healthy young males. *Somatosens Mot Res*, 32(3), 183-186.
- Armijo-Olivo, S., Rappoport, K., Fuentes, J., Gadotti, I., Major, P., Warren, S., . . . Magee, D. (2011). Head and cervical posture in patients with temporomandibular disorders. *Journal of orofacial pain*, 25(3), 199-209.
- Ash, M. (2007). Occlusion, TMDs, and dental education. *Head & face medicine*, 3(1).
- Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91(3), 385-392.
- Ayarra, R., Nakamura, F., Iturricastillo, A., Castillo, D., & Yanci, J. (2018). Differences in Physical Performance According to the Competitive Level in Futsal Players. *Journal of human kinetics*, 64, 275-285.
- Balboni, G. (2000). *Anatomia umana* (III ed., Vol. 3). Milano: EdiSES.
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. *Journal of strength and conditioning research*, 28(2), 528-533.
- Barbatelli, G., & et al. (2018). *Anatomia umana fondamentali*. Edi Ermes.
- Barbero-Alvarez, J., Soto, V., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of sports sciences*, 26(1), 63-73.
- Beales, D., O'Sullivan, P., & Briffa, N. (2009). Motor control patterns during an active straight leg raise in chronic pelvic girdle pain subjects. *Spine*, 34(9), 861-870.
- Benda, J. (2021). Neural adaptation. *Current biology : CB*, 31(3), R110-R116.
- Bergh, U., Thorstensson, A., Sjödin, B., Hulthen, B., Piehl, K., & Karlsson, J. (1978). Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. *Medicine and science in sports*, 10(3), 151-154.
- Bernkopf, E., Maraggia, A., & Bosetti, M. (1990). La vertigine di pertinenza odontoiatrica [Vertigo of dental significance]. *Attualita dentale*, 6(36), 8-15.
- Beth, O. (2008). Tratto da Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=545381>
- Billeter, R., & Hoppeler, H. (1992). Muscular basis of strenght. In P. Komi, *Strenght and Power in Sport*. London: Blackwell Scientific.
- Bobbert, M., Gerritsen, K., Litjens, M., & Van Soest, A. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and science in sports and exercise*, 28(11), 1402-1412.

- Bosco, C. (2002). *La forza muscolare. Aspetti fisiologici ed applicazioni pratiche*. Roma: Società Stampa Sportiva.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 273-282.
- Brooks, J., Carriot, J., & Cullen, K. (2015). Learning to expect the unexpected: rapid updating in primate cerebellum during voluntary self-motion. *Nature Neuroscience*, 18, 1310-1317.
- Brunetti, G. (2010). *Allenare l'atleta. Manuale di metodologia dell'allenamento sportivo*. Roma: Edizioni Scuola dello Sport.
- Buonaccorsi, A. (2003). *Manuale di standardizzazione dei test*. Osservatorio Nazionale Capacità Motorie, C.O.N.I.
- Burke, R., Levine, D., Tsairis, P., & Zajac, F. (1973). Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. *The Journal of physiology*, 234(3), 723-748.
- Burt, C., Glonek, T., & Bárány, M. (1976). Analysis of phosphate metabolites, the intracellular pH, and the state of adenosine triphosphate in intact muscle by phosphorus nuclear magnetic resonance. *The Journal of biological chemistry*, 251(9), 2584-2591.
- Calvisi, V. (2016). *Il ginocchio*. Università di Teramo.
- Chaitow, L., & Franke, H. (2013). *Muscle Energy Techniques*. London: Churchill Livingstone.
- Cheng, K., Wang, C., Chen, H., Wu, C., & Chiu, H. (2008). The mechanisms that enable arm motion to enhance vertical jump performance - A simulation study. *Journal of Biomechanics*, 41, 1847-1854.
- Chetta, G. (2011). *L'apparato stomatognatico*. Tratto da Dr. Giovanni Chetta: <https://www.giovannichetta.it/atm.html>
- Cuccia, A., & Caradonna, C. (2009). The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*, 64(1), 61-66.
- Cullen, K. (2019). Vestibular processing during natural self-motion: implications for perception and action. *Nature Reviews Neuroscience*, 20, 346-363.
- Dale, A., & Cullen, K. (2019). The Ventral Posterior Lateral Thalamus Preferentially Encodes Externally Applied Versus Active Movement: Implications for Self-Motion Perception. *Cerebral Cortex*, 29(1), 305-318.
- Das, S., Sarkar, B., Sharma, R., Mondal, M., Kumar, P., & Sahay, P. (2017). Prevalence of lower crossed syndrome in young adults: A cross sectional study. *International Journal of Approximate Reasoning*, 5, 2217-2228.
- di Vico, R., Ardigò, L., Salernitano, G., Chamari, K., & Padulo, J. (2014). The acute effect of the tongue position in the mouth on knee isokinetic test performance: a highly surprising pilot study. *Muscles, ligaments and tendons journal*, 3(4), 318-323.
- Domínguez-Díez, M., Castillo, D., Raya-González, J., Sánchez-Díaz, S., Soto-Célix, M., Rendo-Urteaga, T., & Lago-Rodríguez, Á. (2021). Comparison of multidirectional jump performance and lower limb passive range of motion profile between soccer and basketball young players. *PloS one*, 1.
- Enciclopedia Treccani. (s.d.). *Lingua*. Tratto da Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani: <https://www.treccani.it/enciclopedia/lingua/>

- Fadani, G. (2012). *FROGGYMOUTH*. Tratto da FROGGYMOUTH - Let's unlock potential: <https://www.froggy-mouth.it/pubblicazioni>
- Federici, E. (2010). Aspetti morfofunzionali del ginocchio: traumatologia e riabilitazione. Università degli studi di Napoli Federico II.
- Fellus, P. (2017). The role of biochemistry and neurophysiology in the reeducation of deglutition. *Medical and Clinical Archives*, 1(1), 1-3.
- Fellus, P. (2019). How biochemistry and neurophysiology are involved in the re-education. *Japan Journal of Medicine*, 2(1), 326-329.
- Ferguson, S., Bryant, J., Ganz, R., & Ito, K. (2003). An in vitro investigation of the acetabular labral seal in hip joint mechanics. *Journal of biomechanics*, 36(2), 171-178.
- Fujimoto, M., Hayakawa, L., Hirano, S., & Watanabe, I. (2001). Changes in gait stability induced by alteration of mandibular position. *Journal of medical and dental sciences*, 48(4), 131-136.
- Gallozzi, C. (2003). Il ruolo dell'equilibrio corporeo nella traumatologia dello sport. *Medicina dello Sport*, 56(4), 24-35.
- Gangloff, P., & Perrin, P. (2002). Unilateral trigeminal anaesthesia modifies postural control in human subjects. *Neuroscience letters*, 330(2), 179-182.
- Garofalo, A., & Pietrobono, P. (2006, Dicembre). Il bambino con deglutizione atipica: un approccio interdisciplinare. *Babele*(34), p. 84-86.
- Gérard, C. (2010). *Les oralités humaines : Avaler et crier : le geste et son*. Doin Editions.
- Gizdulich, A., & Vincenzo, F. (2004). *Diagnosi poligrafica della deglutizione atipica*.
- Goellner, E., & Rocha, C. (2020). Anatomy of Trigeminal Neuromodulation Targets: From Periphery to the Brain. *Progress in neurological surgery*, 35, 18-34.
- Grimaldi, M. (2009). *L'insieme è la somma delle parti. Considerazioni preliminari su dati articolatori della lingua ottenuti tramite Ultrasuoni ed Articolografo Elettromagnetico 3D*. Brescia: EDK Editore.
- Guo, Z., Huang, Y., Zhou, Z., Leng, B., Gong, W., Cui, Y., & Bao, D. (2021). The Effect of 6-Week Combined Balance and Plyometric Training on Change of Direction Performance of Elite Badminton Players. *Frontiers in psychology*, 12, 1-10.
- Halata, Z., & Baumann, K. (1999). Sensory nerve endings in the hard palate and papilla incisiva of the rhesus monkey. *Anat Em bryol*, 199(5), 427-437.
- Hsu, H., & Siwec, R. (2023). *Knee Arthroplasty*. StatPearls. StatPearls Publishing.
- Ishiko, T., Naito, M., & Moriyama, S. (2005). Tensile properties of the human acetabular labrum-the first report. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, 23(6), 1448-1453.
- Johnston, W., O'Reilly, M., Dolan, K., Reid, N., Coughlan, G., & Caulfield, B. (2016). Objective Classification of Dynamic Balance Using a Single Wearable Sensor. *4th International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support* (p. 15-24). Porto, Portugal: SCITEPRESS – Science and Technology Publications.
- Johnston, W., O'Reilly, M., Duignan, C., Liston, M., McLoughlin, R., Coughlan, G., & Caulfield, B. (2019). Association of Dynamic Balance With Sports-Related Concussion: A Prospective Cohort Study. *The American journal of sports medicine*, 47(1), 197-205.

- Kandel, E. (2017). *Alla ricerca della memoria. La storia di una nuova scienza della mente.* (G. Olivero, Trad.) Torino: Codice.
- Karlsson, J., & Jacobs, I. (1982, Nov). Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept. I. Theoretical considerations. *Int J Sports Med*, 3(4), 190-201.
- Kothari, M., Svensson, P., Jensen, J., Kjærsgaard, A., Jeonghee, K., Nielsen, J., . . . Baad-Hansen, L. (2013). Training-induced cortical plasticity compared between three tongue-training paradigms. *Neuroscience*, 246, 1-12.
- Lea RD, G. J. (1995). Range-of-motion measurements. *J Bone Joint Surg Am*, 77(5):784-98.
- Levrini, A. (1997). *Terapia miofunzionale. Rieducazione neuromuscolare integrata.* Elsevier.
- Liebenson, C., Karpowicz, A., Brown, S., Howarth, S., & McGill, S. (2009). The active straight leg raise test and lumbar spine stability. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 1(6), 530-535.
- López-Valenciano, A., Ayala, F., Vera-García, F., de Ste Croix, M., Hernández-Sánchez, S., Ruiz-Pérez, I., . . . Santonja, F. (2019). Comprehensive profile of hip, knee and ankle ranges of motion in professional football players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(1), 102-109.
- Mahato, V., Johnston, W., & Cunningham, P. (2019). Scoring Performance on the Y-Balance Test. *The 27th International Conference (ICCB 2019)*. Otzenhausen, Germany: Springer.
- Maloney, S. (2019). The Relationship Between Asymmetry and Athletic Performance: A Critical Review. *Journal of strength and conditioning research*, 33(9), 2579-2593.
- Manfredini, D., & Perinetti, G. (2017). Linee guida italiane sul rapporto tra occlusione dentale e postura. *Evidence Based Dentistry*.
- Manfredini, D., Castroflorio, T., Perinetti, G., & Guarda-Nardini, L. (2012). Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: where we are now and where we are heading for. *Journal of oral rehabilitation*, 39(6), 463-471.
- Manganaro, D., & Alsayouri, K. (2023). *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Ankle Joint.* StatPearls. StatPearls Publishing.
- Marie, H. (2010). *Meccanismi molecolari della memoria.* Tratto da Enciclopedia Treccani: https://www.treccani.it/enciclopedia/meccanismi-molecolari-della-memoria_%28XXI-Secolo%29/
- Martini, F., Tallitsch, R., & Nath, J. (2016). *Anatomia umana* (V ed.). EdiSES.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2018). *Fisiologia applicata allo sport. Aspetti energetici, nutrizionali e performance* (Terza edizione ed.). (G. Fanò-Illic, & G. Miserocchi, A cura di) Milano: Casa editrice Ambrosiana.
- McKinley, M., O'Loughlin, V., & Pennefather-O'Brien, E. (2019). *Anatomia Umana.* (K. Cortese, A cura di) Padova: Piccin.
- Mens, J., Vleeming, A., Snijders, C., Koes, B., & Stam, H. (2002). Validity of the active straight leg raise test for measuring disease severity in patients with posterior pelvic pain after pregnancy. *Spine*, 27(2), 196-200.
- Mens, J., Vleeming, A., Snijders, C., Ronchetti, I., Ginai, A., & Stam, H. (2002). Responsiveness of outcome measurements in rehabilitation of patients with posterior pelvic pain since pregnancy. *Spine*, 27(10), 1110-1115.

- Mens, J., Vleeming, A., Snijders, C., Stam, H., & Ginai, A. (1999). The active straight leg raising test and mobility of the pelvic joints. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 8(6), 468-473.
- Michelotti, A., Buonocore, G., Manzo, P., Pellegrino, G., & Farella, M. (2011). Dental occlusion and posture: an overview. *Progress in orthodontics*, 12(1), 53-58.
- Mora, F., Segovia, G., & del Arco, A. (2007). Aging, plasticity and environmental enrichment: structural changes and neurotransmitter dynamics in several areas of the brain. *Brain research reviews*, 55(1), 78-88.
- Moscão, J., Vilaça-Alves, J., & Afonso, J. (2020). A review of the effects of static stretching in human mobility and strength training as a more powerful alternative: Towards a different paradigm. *Motricidade*, 16, 18-27.
- Murray, G., & Peck, C. (2007). Orofacial pain and jaw muscle activity: a new model. *Journal of orofacial pain*, 21(4), 263-288.
- Myers, T. (2022). *Meridiani Miofasciali*. Milano: Tecniche Nuove.
- Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. *Journal of exercise science and fitness*, 15(2), 76-80.
- Netter, F. H. (2015). *Netter - Atlante di Anatomia Umana* (V ed.). Milano: Edra.
- Neumann, D. (2010). Kinesiology of the hip: a focus on muscular actions. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 40(2), 82-94.
- Nogueira, F., de Freitas, V., Nogueira, R., Miloski, B., Werneck, F., & BaraFilho, M. (2018). Improvement of physical performance, hormonal profile, recovery stress balance and increase of muscle damage in a specific futsal pre-season planning. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 11(2), 63-68.
- O'Sullivan, P., Beales, D., Beetham, J., Cripps, J., Graf, F., Lin, I., . . . Avery, A. (2002). Altered motor control strategies in subjects with sacroiliac joint pain during the active straight-leg-raise test. *Spine*, 27(1), E1-E8.
- Pamuk, Ö., Makaracı, Y., Ceylan, L., Küçük, H., Kızılet, T., Ceylan, T., & Kaya, E. (2023). Associations between Force-Time Related Single-Leg Counter Movement Jump Variables, Agility, and Linear Sprint in Competitive Youth Male Basketball Players. *Children*, 10(3), 427.
- Pathan, H., Phansopkar, P., & Naqvi, W. (2020). Screening for Upper Cross Syndrome in Asymptomatic Individuals. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 15(1), 50-54.
- Pelosi, A. (2014). *Interferenze orali nelle sindromi cranio- mandibolo- cervicali*. Castello Editore.
- Perinetti, G., Marsi, L., Castaldo, A., & Contardo, L. (2012). Is postural platform suited to study correlations between the masticatory system and body posture? A study of repeatability and a meta-analysis of reported variations. *Progress in orthodontics*, 13(3), 273-280.
- Perry, H. (1976). Temporomandibular joint and occlusion. *The Angle orthodontist*, 46(3), 284-293.
- Petrosini, L., Troiani, D., & Zannoni, B. (1979). Compensation of labyrinthine lesions: effects of trigeminal neurotomy on vestibular field potentials. *Physiol Behav.*, 23(4), 785-789.

- Plisky, P., Gorman, P., Butler, R., Kiesel, K., Underwood, F., & Elkins, B. (2009). The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *North American journal of sports physical therapy : NAJSPT*, 4(2), 92-99.
- Pollock, A., Durward, B., Rowe, P., & Paul, J. (2000). What is balance? *Clinical rehabilitation*, 14(4), 402-406.
- Prodoehl, J., Gottlieb, G., & Corcos, D. (2003). The neural control of single degree-of-freedom elbow movements. Effect of starting joint position. *Experimental brain research*, 153(1), 7-15.
- Reis, I., Rebelo, A., Krustrup, P., & Brito, J. (2013). Performance enhancement effects of Fédération Internationale de Football Association's "The 11+" injury prevention training program in youth futsal players. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 23(4), 318-320.
- Ribeiro, J., Gonçalves, B., Coutinho, D., Brito, J., Sampaio, J., & Travassos, B. (2020). Activity Profile and Physical Performance of Match Play in Elite Futsal Players. *Frontiers in psychology*, 11, 1709.
- Rocha, T., Castro, M., Guarda-Nardini, L., & Manfredini, D. (2017). Subjects with temporomandibular joint disc displacement do not feature any peculiar changes in body posture. *Journal of oral rehabilitation*, 44(2), 81-88.
- Roussel, N., Nijs, J., Truijien, S., Smeuninx, L., & Stassijns, G. (2007). Low back pain: clinimetric properties of the Trendelenburg test, active straight leg raise test, and breathing pattern during active straight leg raising. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 30(4), 270-278.
- Róžańska-Perlińska, D., Jaszczur-Nowicki, J., Kruczkowski, D., & Bukowska, J. (2023). Dental Malocclusion in Mixed Dentition Children and Its Relation to Podal System and Gait Parameters. *International journal of environmental research and public health*, 20(3), 2716.
- Sahrmann, S. (2015). Sindromi da disfunzione del movimento dell'anca. In S. Sahrmann, *Valutazione e trattamento delle sindromi da disfunzione del movimento* (p. 121-143). Utet Div. Scienze Mediche.
- Sahrmann, S., Azevedo, D., & Dillen, L. (2017). Diagnosis and treatment of movement system impairment syndromes. *Brazilian journal of physical therapy*, 21(6), 391-399.
- Schmidt, J., Carlson, C., Usery, A., & Quevedo, A. (2009). Effects of tongue position on mandibular muscle activity and heart rate function. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 108(6), 881-888.
- Scoppa, F. (2005). Glosso-postural syndrome. *Annali di Stomatologia*, 54(1), 27-34.
- Scoppa, F., & Pirino, A. (2019). Is there a relationship between body posture and tongue posture? Glosso-postural syndrome between muth and reality. *Acta Medica Mediterranea*, 35, 1897-1907.
- Shavikloo, J., Samami, N., & Norasteh, A. (2018). The Effect of TRX Training on the Balance Functions of Futsal Players. *International Journal of Sport, Exercise and Health Research*, 2(2), 114-117.
- Snijders, C., Vleeming, A., & Stoeckart, R. (1993). Transfer of lumbosacral load to iliac bones and legs Part 1: Biomechanics of self-bracing of the sacroiliac joints and its significance for treatment and exercise. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 8(6), 285-294.

- Spangenburg, E., & Booth, F. (2003, Aug). Molecular regulation of individual skeletal muscle fibre types. *Acta Physiol Scand*, 178(4), 413-424.
- Takemoto, H. (2001). Morphological analyses of the human tongue musculature for three-dimensional modeling. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 44(1), 95-107.
- Terranova, A. (2017, Settembre 22). *Equilibrio: definizione, afferenze, efferenze e riflessi*. Tratto da Osteolab: <https://www.osteolab.net/equilibrio/>
- Tesch, P., & Karlsson, J. (1985). Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *Journal of applied physiology*, 59(6), 1716–1720.
- Tesch, P., Thorsson, A., & Kaiser, P. (1985). Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 56(1), 35–38.
- Tillman, B. (2009). *Atlante di Anatomia Odontoiatria e Medicina*. RC Libri.
- Trabelsi, Y., Aouichaoui, C., Richalet, J., & Tabka, Z. (2014). Anthropometric and Physical Fitness Characteristics of Elite Futsal Tunisian Players. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 2(4), 136-142.
- Valdés, C., Gutiérrez, M., Falace, D., Astaburuaga, F., & Manns, A. (2013). The effect of tongue position and resulting vertical dimension on masticatory muscle activity. A cross-sectional study. *Journal of oral rehabilitation*, 40(9), 650-656.
- Viel, E. (1997). *Il metodo Kabat. Facilitazione neuromuscolare propriocettiva*. Roma: Marrapese.
- Wada, M., Sunaga, N., & Nagai, M. (2001). Anxiety affects the postural sway of the antero-posterior axis in college students. *Neuroscience letters*, 302(2-3), 157-159.
- Weineck, J. (2009). *L'allenamento ottimale*. (P. Bellotti, A cura di, & M. Gulinelli, Trad.) Torgiano, PG: Calzetti & Mariucci Editori.
- Wildenberg, J., Tyler, M., Danilov, Y., Kaczmarek, K., & Meyerand, M. (2010). Sustained cortical and subcortical neuromodulation induced by electrical tongue stimulation. *Brain imaging and behavior*, 4(3-4), 199-211.
- Wilson, B., Robertson, K., Burnham, J., Yonz, M., Ireland, M., & Noehren, B. (2018). The Relationship Between Hip Strength and the Y Balance Test. *Journal of sport rehabilitation*, 27(5), 445-450.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., & McNair, P. (2004). Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(7), 443-449.
- Yan, Z. (2000). Skeletal muscle adaptation and cell cycle regulation. *Exercise and sport sciences reviews*, 28(1), 24-26.
- Yoshida, , K., Tateishi, T., & Morimoto, Y. (2023). Futsal injuries: A 7-season incidence and characteristics. *JSAMS Plus*, 2.
- Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Study Athletics*, 10, 88-96.