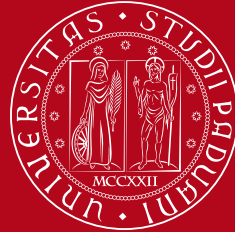


1222 · 2022
800
ANNI



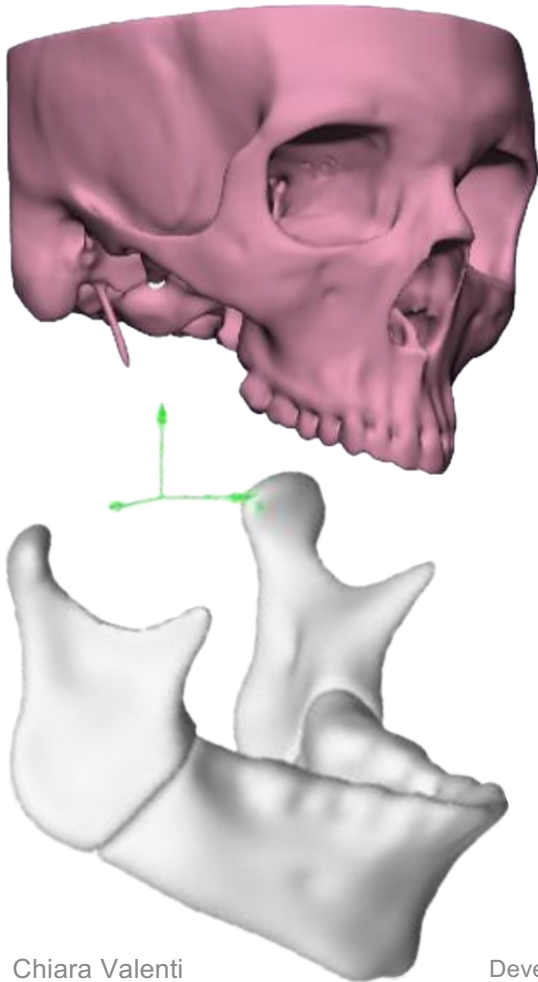
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Development and performance analysis of techniques for mandibular movement measurement.

Chiara Valenti - 39th Cycle

Supervisor: Prof. Gianluca Rossi

admission to 3° year - 11 / 09 / 2025



Background



Project idea



Objectives



WBS



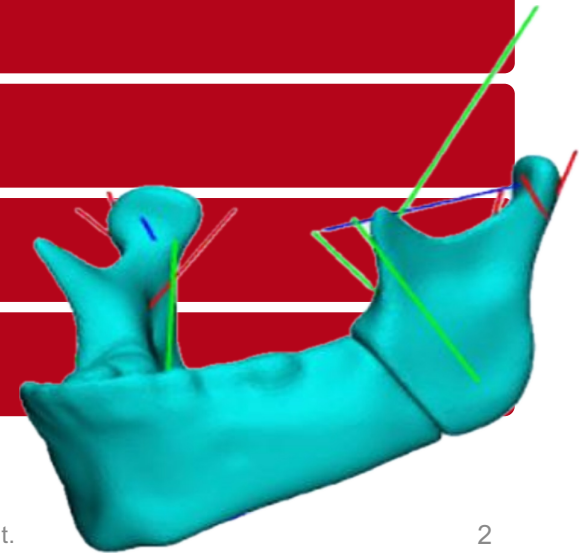
Activities



Posters and Publications

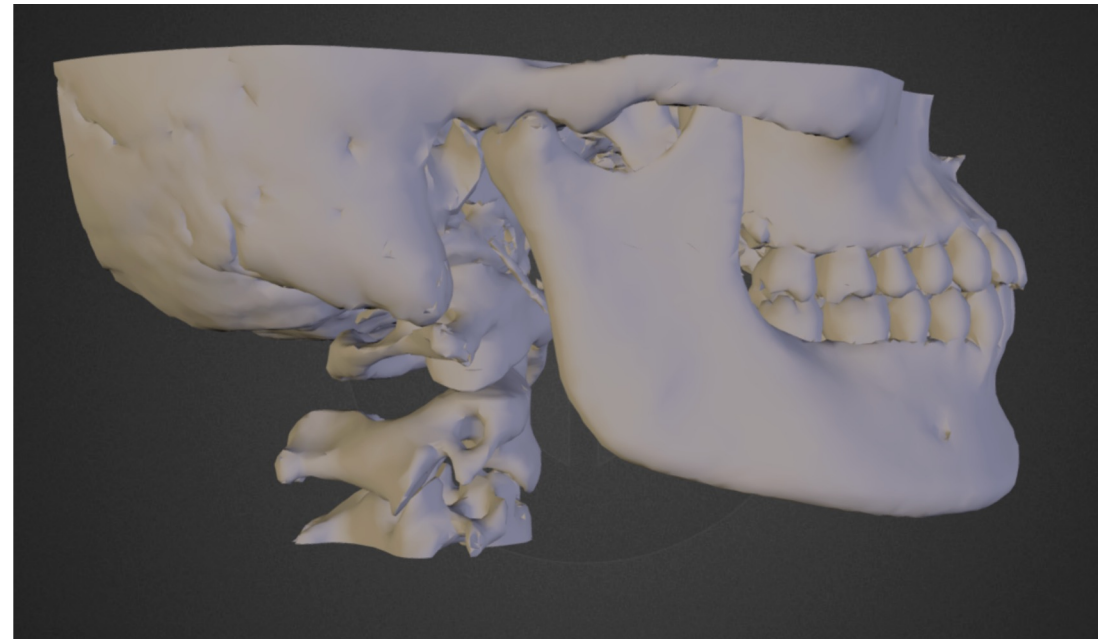


Gantt Chart

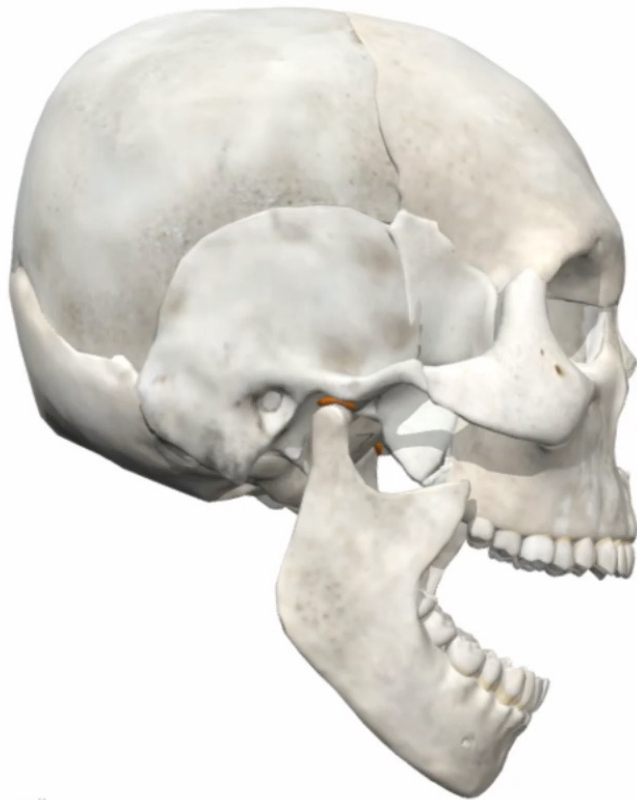


The evaluation of the masticatory tracings of the stomatognathic apparatus is fundamental to establish accurate diagnosis, therapeutic approach, and effective treatment plans, in particular for temporo-mandibular disorders (TMDs) characterization.

Given TMDs high prevalence in the general population and the limitations of current diagnostic methodologies —many of which rely on subjective clinical evaluation or imaging techniques— there is a need for more advanced, objective, and patient-friendly diagnostic tools.



Schiffman E. et al. *Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for Clinical and Research Applications: recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network* and Orofacial Pain Special Interest Group†*. *J Oral Facial Pain Headache*. 2014;28(1):6-27.



Jaw Tracking Systems (JTS) record patient's mandibular motion, allowing movements to be exported to CAD software for designing prostheses and adapted occlusal devices > diagnostic and therapeutic purposes.

JTS technologies improved comfort, reduced prosthesis design time, and simplified processes, but achieve a complete digital workflow is expensive, and to have accurate records it is necessary to use ionizing radiation (CBCT).

Therefore, it is still not possible to accurately replicate the complex organization of masticatory excursions, making most prosthetic and gnathological therapeutic solutions still approximate and hardly respectful of the physiology of the stomatognathic apparatus.

nily McDougall

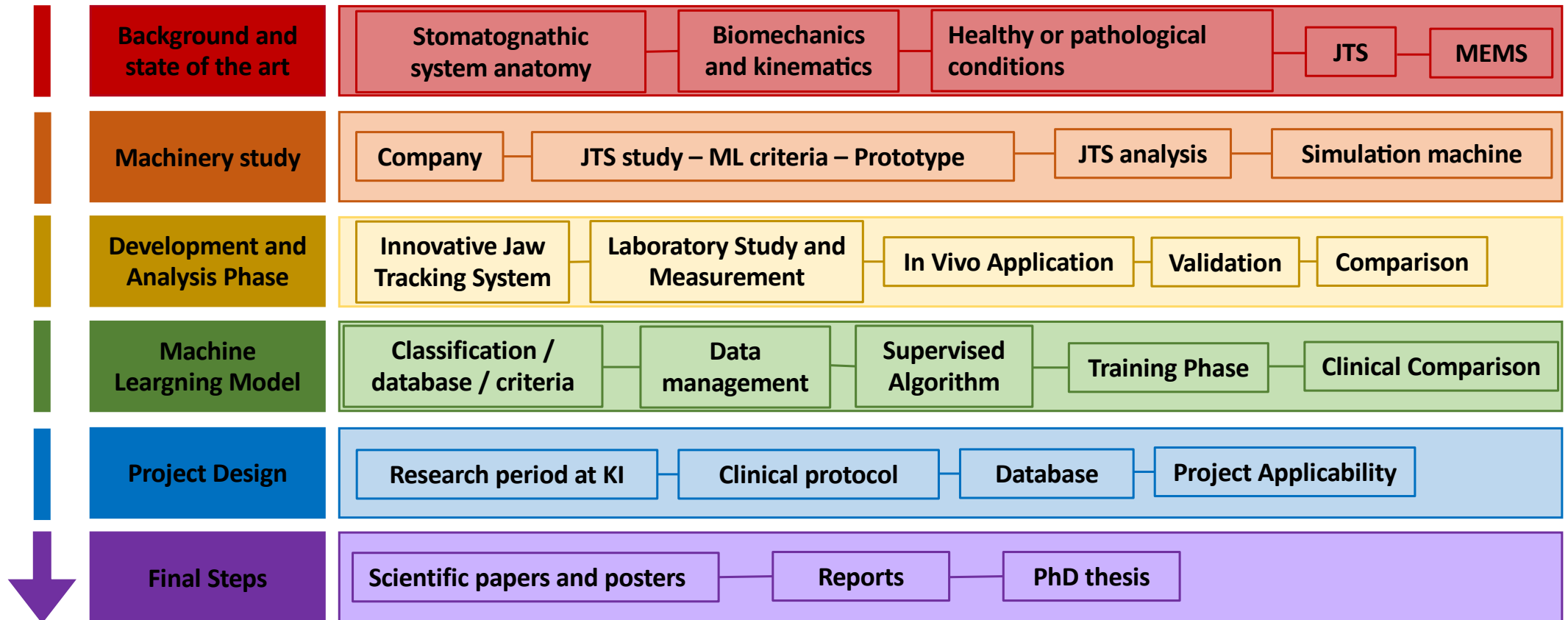
S. Jakubowska, et al. Jaw motion tracking systems – literature review. *Prosthodontics*. 73 (1) (2023) 18-28

This research addresses the technological and clinical gap, developing a novel, non-invasive, wearable device, resistant to motion artifacts, waterproof, unobtrusive for the patient, and with uncovered occlusal surface, for accurate 3D mandibular dynamics measurements, without the use of ionizing radiation to record data safely and comfortably for patients.

The study aims to design and validate a prototype tool, evaluate its uncertainty in measurements under both in vitro and in vivo conditions, and assess its potential to identify dysfunctions associated with TMDs.

- Improve diagnostic accuracy of TMDs
- Realize effective treatment plans
- Ensure a complete and efficient digital workflow, with minimal post-production corrections, and reduced costs
- Generate large-scale motion data sets to support foundational knowledge of stomatognathic biomechanics and the training of machine learning algorithms > automated diagnosis and predictive models for individualized treatment planning

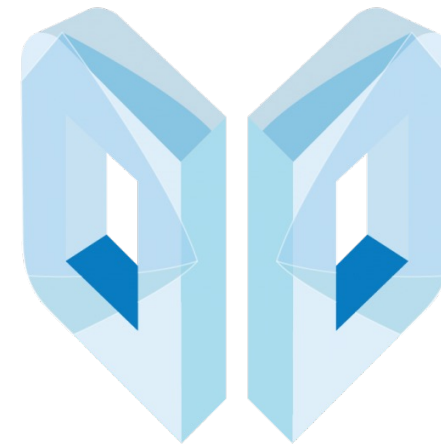
Working plan of the project



Education and training activities on digital dentistry and technological innovation; diagnosis and treatment of TMD in gnathology; functional orthodontics and integrated approaches to the management of stomatognathic system dysfunctions.

Participation at the annual international conference of the Digital Dentistry Society, learning about the latest innovations, and new developments on JTS devices and their clinical applications.

Participation at a training event in the headquarters of Grow Up, a spin-off of New Ancorvis, dedicated to the development of digital workflows and teaching methodologies in dentistry.

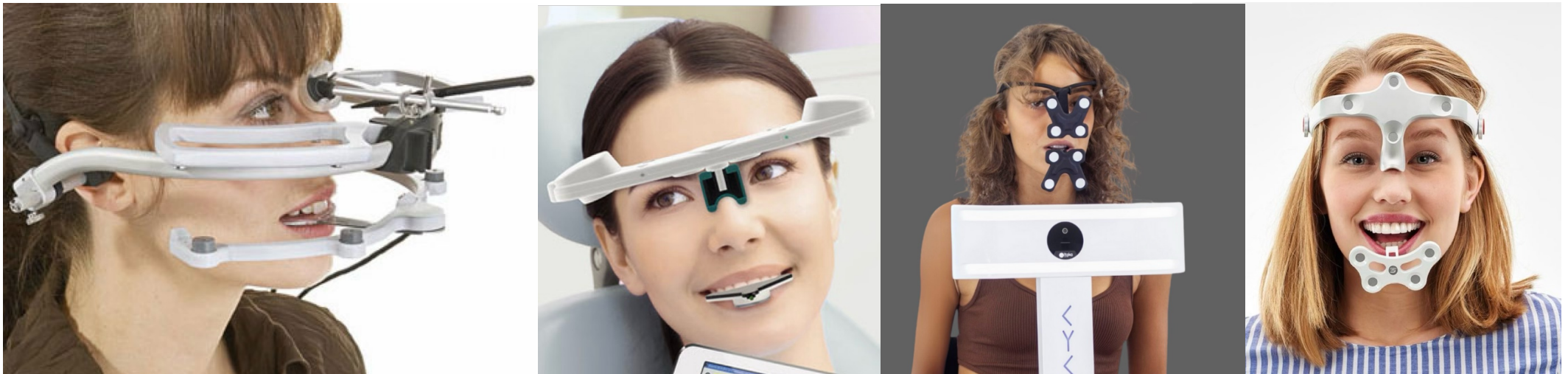


Digital
Dentistry
Society

The review of the literature on the biomechanics and anatomy of the stomatognathic apparatus has been refined.

An update was made on the state of the art regarding the currently available mandibular movement analysis systems and the main limitations of existing technologies in clinical settings.

Commercially available and/or experimental devices identified in the literature have been further analyzed, considering both in vitro and in vivo studies on healthy and/or pathological subjects, with particular attention to the alterations of the pathophysiological tracings.



JMA+ Analyser and Optic JMA (Zebris Medical GmbH, Germany); Cyclops (Itaka Way Med, Italy); Tech in Motion (MODJAW, France).

The bibliographic research on the use of MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) sensors in healthcare, previously identified in the literature, was also expanded.

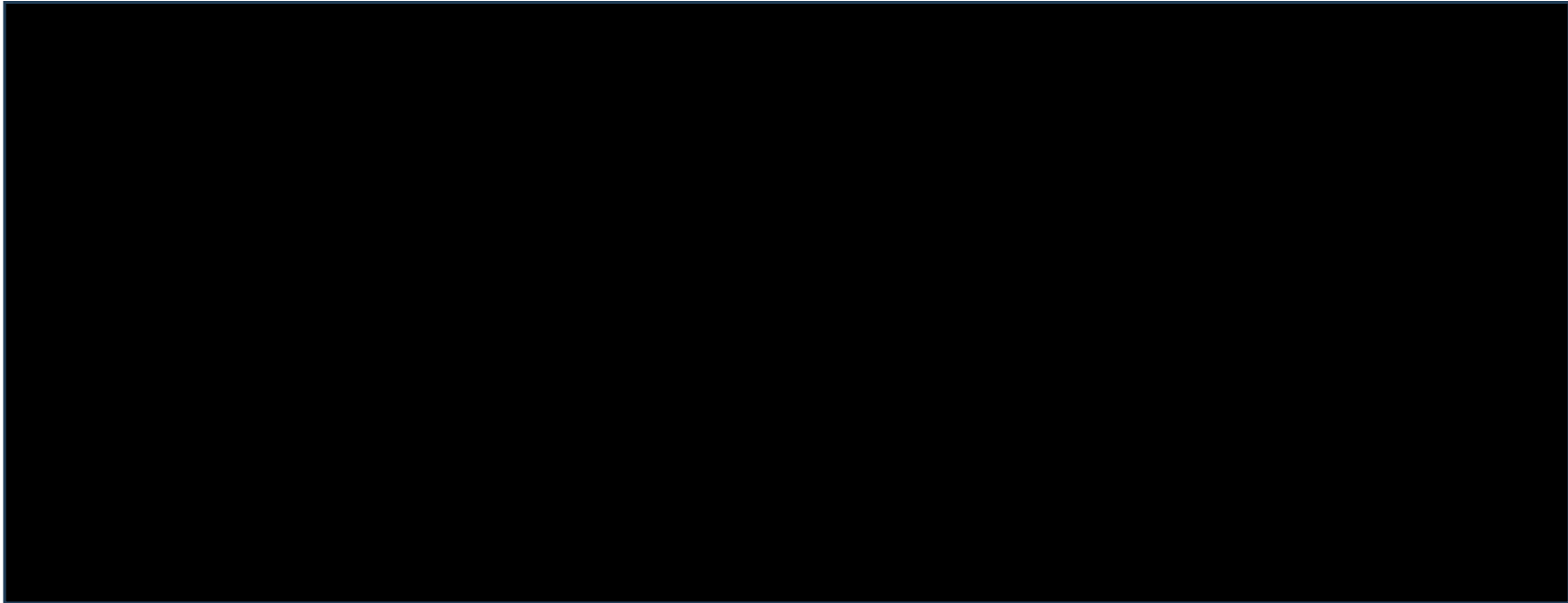
- Biomedical monitoring: arterial, intracranial, and intraocular pressure, temperature, glucose level, saturation. Diagnostics and imaging: tumour biomarkers, viral and bacterial infections, allergies, endoscopies, ultrasounds.
- Surgical instruments, and drug therapies.
- Prostheses, Pacemakers, defibrillators, neurostimulators, and hearing aids.
- Sleep disorders, physical activity and posture.



Chircov C, Grumezescu AM. *Microelectromechanical Systems (MEMS) for Biomedical Applications. Micromachines.* 2022; 13(2):164.
DentiTrac (Braebon Medical Corporation, Canada)

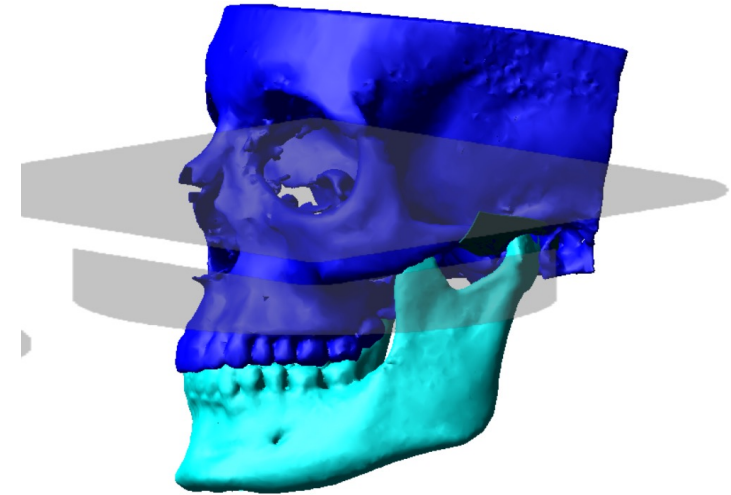
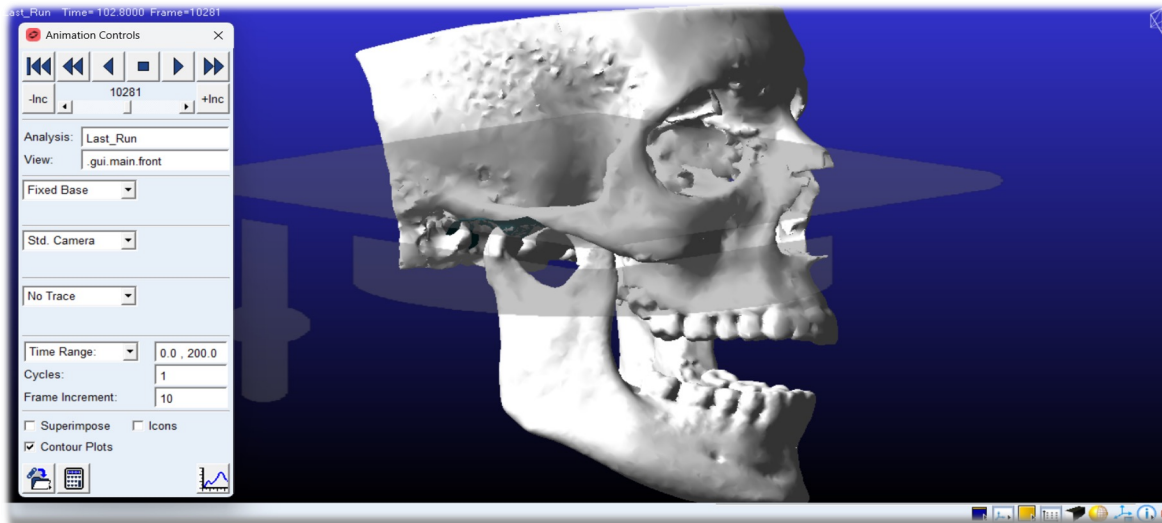
During the last 3 months in the dental lab, in depth studies on: function and characteristics of various types of JTS devices, mandibular dynamics, and how they influences dental manufactures production.

Further studies were conducted on commercially available devices for recording movements, with attention to: operation and compatibility with clinical and dental laboratory workflows, and critical issues encountered in their application to patients, particularly in cases of TMD.



Further evaluation of recordings made on healthy or pathological subjects to identify the most relevant characteristics in the tracings, in order to implement the development of a Machine Learning model.





Design and protocols of the new prototype system have also been optimised, taking into account ergonomics, clinical acceptability and application potential, with particular attention to:

Patient comfort and reduced invasiveness; Miniaturization and costs; Future integration with surface electromyography (sEMG) systems or AI modules; Development of a dedicated user interface for clinical use.

A new system with intraoral application was designed for recording mandibular movements in healthy or pathological subjects, in the fields of prosthetics, orthodontics and gnathology, with diagnostic and therapeutic purposes.

Integration of precision sensors, ergonomic design, and digital processing tools into a compact, economic, and user-friendly system adaptable to many clinical environments.

Definition of the hardware architecture:

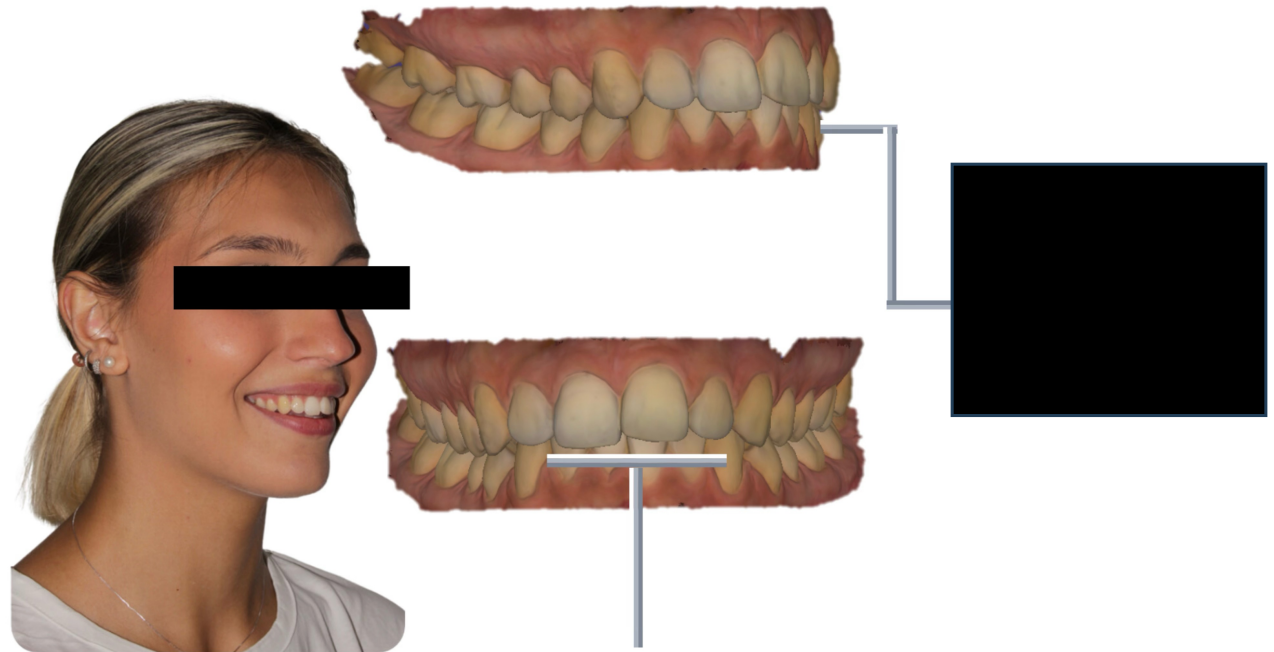
- MEMS IMU sensor(s) (**MPU-9250**): a 9-axis inertial unit combining a 3D accelerometer, 3D gyroscope, and 3D magnetometer.
- Data acquisition unit: **Raspberry Pi Zero 2W**, used for sensor interfacing, real-time data acquisition, pre-processing, and wireless transmission.
- Power supply: a portable powerbank, ensuring system autonomy and making the device suitable for both laboratory and in vivo applications.

Wei-meng Niu, et al. Small Displacement Measuring System Based on MEMS Accelerometer. Mathematical Problems in Engineering. 2019.

Support design: 3D-printed housings for the IMU, ensuring minimal weight and stable fixation.

Biocompatibility: consideration of medical-grade resins or coatings for intraoral/external parts in direct contact with patients.

User comfort: minimization of bulk and interference with natural mandibular movement during acquisition.



Design of the prototype and practical implementation of the device.

Development of the software application in Python language and the web-based interface.

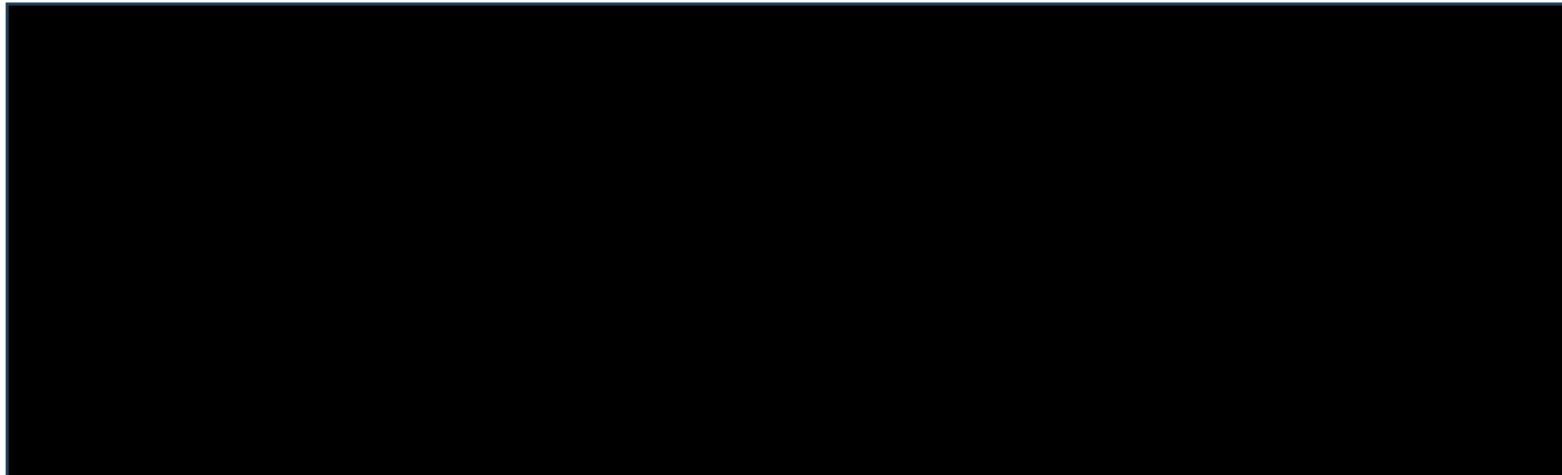
Testing functions for calculating displacement using linear and sinusoidal acceleration;

Noise reduction: digital filtering techniques to minimize artifacts from muscle activity, head tremors, or electromagnetic interference;

Adding noise to data to find the most suitable filter for the simulation;

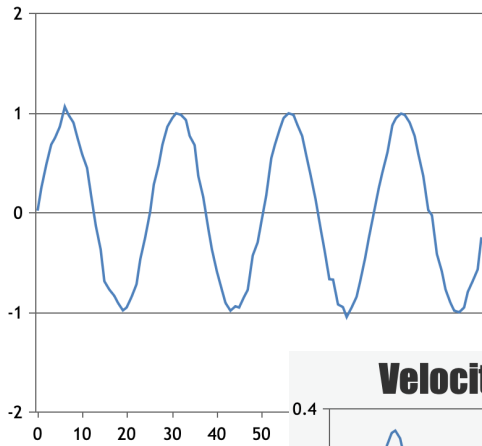
Automatic calibration of the instrument before data retrieval;

Graphical representation of the data recorded by the sensor on the 3 axes.

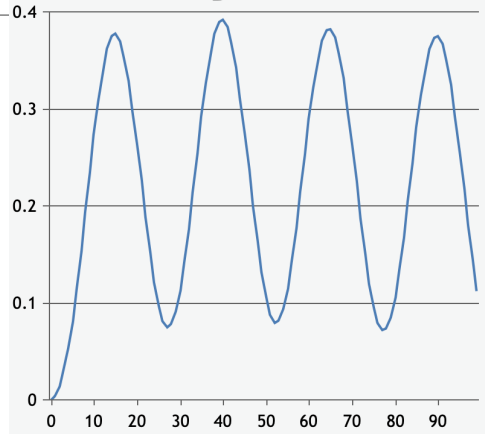


Wei-meng Niu, et al. Small Displacement Measuring System Based on MEMS Accelerometer. Mathematical Problems in Engineering. 2019.

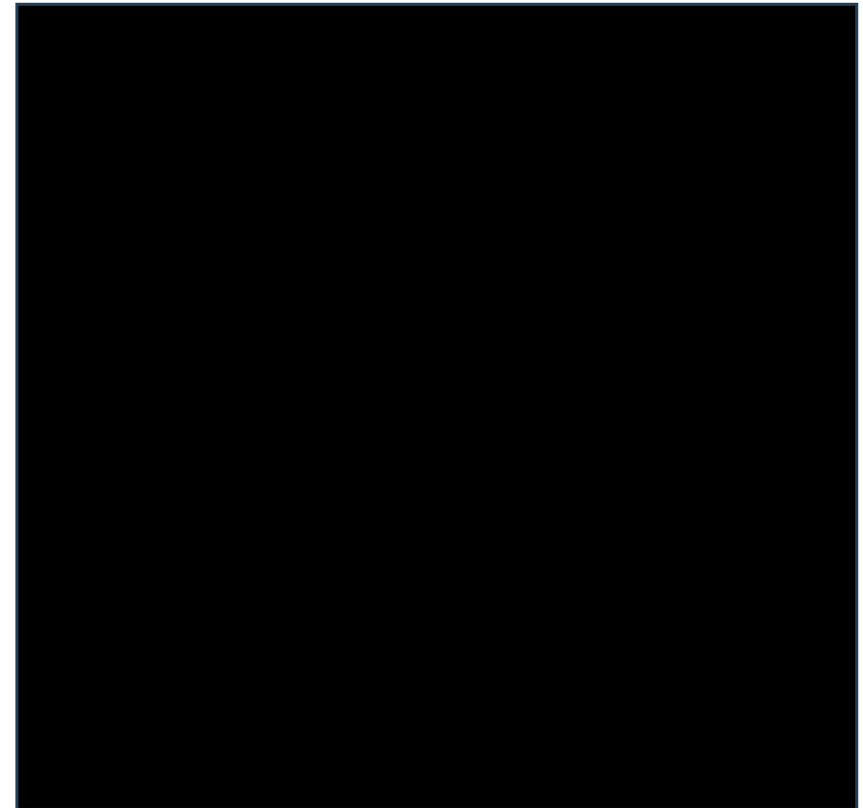
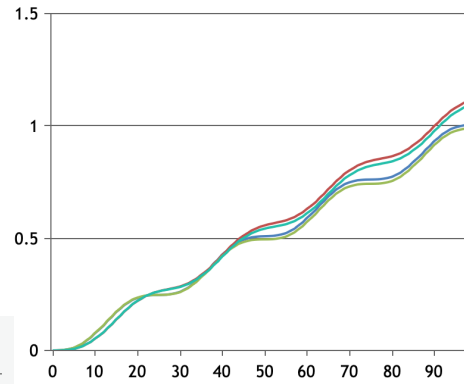
Acceleration with noise



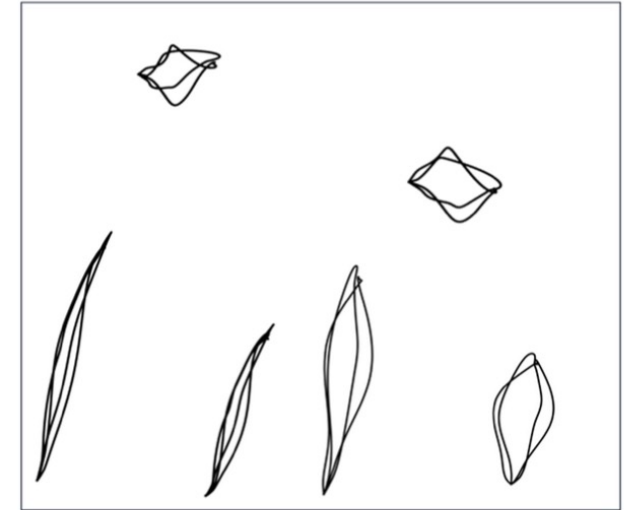
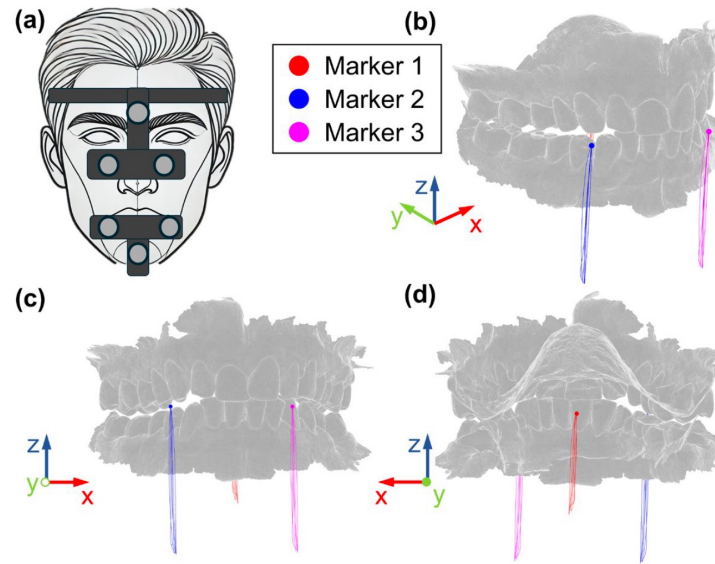
Velocity with noise



Corrected displacement with filters



Wei-meng Niu, et al. Small Displacement Measuring System Based on MEMS Accelerometer. *Mathematical Problems in Engineering*. 2019.



The algorithm based on a supervised machine learning model for the classification of tracings in different types of patients was further implemented.

The criteria for selecting recordings in order to classify physiological or pathological conditions were identified with preliminary data from JTS selected on the market.



**Karolinska
Institutet**

Bench testing is being configured, with the implementation of the motion simulation machine, to assess stability, sampling reliability, and sensor drift, considering metrological analysis and comparison with previously studied JTS to define clinical thresholds.

The protocol for in vivo tests on patients has been established for the collection of mandibular tracings and path >

Planned pilot trials:

preliminary acquisitions on healthy volunteers to validate comfort, stability of sensor fixation, and quality of recorded motion signals.

- standardize care protocols and promote therapeutic paradigms
- reduce misdiagnoses and improve patient outcomes

Irshad TB, Pascoletti G, Pagano S, Valenti C, Zanetti EM. A Novel Integrated CAD-Multibody Approach for TMJ Prosthesis Design. *Designs*. 2025; 9(4):78.

Federici MI, Di Pasquale F, Valenti C, Nanussi A, Tulli O, Coniglio M, Eramo S, Marinucci L, Pagano S. Systematic Review and Meta-Analysis of Electromyography Potential to Discriminate Muscular or Articular Temporomandibular Disorders and Healthy Patients. *Healthcare*. 2025; 13(5):466.

Valenti C, Di Pasquale F, et al. Evaluation of different electromyographic parameters of temporomandibular dysfunction in athletes. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2024.



A.D. 1308
unipg

DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA
MUR 2023/2027



A.D. 1308
unipg

DIPARTIMENTO
DI MEDICINA E CHIRURGIA



DISORDINI TEMPORO-MANDIBOLARI E STATI PSICOPATOLOGICI: VALUTAZIONE DELLA CORRELAZIONE E DEL SUO SIGNIFICATO IN UNA POPOLAZIONE DI STUDENTI UNIVERSITARI

R. Izzo ¹, C. Valenti ¹, F. Di Pasquale ¹, A. Nanussi ¹, R. Cristofori ¹, M. Bassi ¹, N. Falocci ¹, S. Pagano ¹, A. Faculty of Dentistry, Department of Medicine and Surgery, University of Perugia, S. Andrea delle Fratte, 06156, Perugia, Italy
² CISAS "Giuseppe Colombo", University of Padua, Via Venezia, 15, 35131, Padua, Italy
³ University of Milano-Bicocca, Milano, Italy

1 INTRODUZIONE

Nonostante i Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders propongano una valutazione dei soggetti affetti da disturbi temporomandibolari su due assi: fisico (Asse I) e psicossiale (Asse II), il ruolo predisponente, scatenante e/o peggiorativo dei disturbi psichici non è ancora stato chiarito. Perciò questo studio si propone di valutare la correlazione tra i Disturbi Temporomandibolari (DTM) e le alterazioni di natura psicologica.

2 MATERIALI E METODI

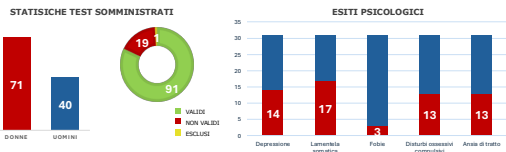
Sono stati arruolati 111 studenti della Facoltà di Odontoiatria e Protesi Dentaria (Università degli Studi di Perugia) e sottoposti ad esame gnatologico, così da poterli dividere in due gruppi: 56 soggetti sani (controlli) e 55 soggetti con DTM (cas). Successivamente, i partecipanti hanno compilato un questionario di autovalutazione psicologica (CBM 2.0), composto da 5 scale cliniche primarie (ansia di tratto, disturbi somatici, fobie, manifestazioni depressive e manifestazioni ossessivo-compulsive) e scale secondarie correlate a fobie e sintomi ossessivo-compulsivi.

Punteggi superiori a 95 sono stati considerati clinicamente significativi, mentre un punteggio di 0 non è stato considerato significativo. Il confronto tra casi e controlli è stato eseguito con il test del Chi quadrato. L'associazione tra CBM e diagnosi gnatologica è stata verificata tramite rapporti di probabilità (odds ratio) e modelli di regressione logistica.

L'analisi statistica è stata condotta utilizzando il software R versione 4.4.2, considerando significativo un valore di p<0.05.

3 RISULTATI

Dall'analisi dei questionari somministrati, per 40 studenti risultavano punteggi clinicamente significativi. In particolare erano evidenti alterazioni nelle scale cliniche primarie per 31 studenti, di cui 15 mostravano punteggi anomali in più di una scala clinica e, tra questi, 11 appartenevano al gruppo TMD. Mostravano invece alterazioni per una sola scala clinica i restanti 16 studenti, dei quali 8 erano appartenenti al gruppo TMD, 9 studenti inoltre, di cui 3 appartenenti al gruppo TMD, mostravano punteggi clinicamente significativi solo nelle scale secondarie. Un totale di 51 studenti non ha mostrato alterazioni rilevanti in nessuna scala, ma sono comunque stati inclusi nell'analisi statistica. Tra le problematiche psicologiche maggiormente riscontrate, la lamentela somatica risulta particolarmente presente, soprattutto nel gruppo TMD (11 casi su 17), con punteggi clinicamente significativi. Anche l'ansia di tratto rappresenta un aspetto rilevante, essendo stata identificata in 13 studenti, 9 dei quali con TMD. Lo stato depressivo è stato evidenziato in 14 studenti, con una netta prevalenza nel gruppo TMD (12 casi su 14).



4 CONCLUSIONI

Per comprendere appieno la correlazione in esame e giungere a risultati significativi, risulta necessario approfondire lo studio considerando di includere un campione di dimensioni maggiori e più eterogeneo. In particolare, l'inclusione di soggetti con maggiore variabilità in termini di età, occupazione e livello di istruzione consentirebbe di valutare anche come le variabili socio-demografiche possano influenzare la correlazione tra le alterazioni della sfera psicologica e i DTM. Questo approccio consentirebbe non solo di confermare i risultati preliminari, ma anche di comprendere eventuali meccanismi, offrendo un quadro più completo e rappresentativo del fenomeno.

1. van't Hof-Grootenboer et al. The effect of coping on pain and psychological well-being in a patient population with pain-related temporomandibular disorders. J Oral Rehabil. 2002; 29: 204-210.
 2. Manfredini D et al. Standardized Tool for the Assessment of Oral (DTM). J Oral Rehabil. 2002; 29: 3.
 3. Manfredini et al. Role of psychological factors in etiology of temporomandibular disorders. J Oral Rehabil. 2002; 29: 3.



REALIZZAZIONE DEL PAZIENTE 4D E RIABILITAZIONE DELLA DIMENSIONE VERTICALE DI OCCLUSIONE CON LA TECNICA VERTICAL BOX

L. Falini ¹, C. Valenti ¹, F. Di Pasquale ¹, A. Galluzzi ², S. Parretti ¹, S. Eramo ¹, S. Pagano ¹

¹ Faculty of Dentistry, Department of Medicine and Surgery, University of Perugia, Italy
² CISAS "Giuseppe Colombo", University of Padua, Italy
³ University of Perugia, Italy

INTRODUZIONE

La tecnica Vertical Box si propone come una soluzione innovativa per ripristinare la dimensione verticale di occlusione (DVO) e la corretta relazione intermassellare, sfruttando la proporzione neuromuscolare del paziente, attraverso un protocollo terapeutico interamente digitale.

MATERIALI E METODI

Attraverso la creazione di un modello virtuale 4D del paziente, utilizzando l'impronta digitale rilevata con scanner intraorale (TRIOS, 3Shape) e le scansioni facciali mediante scanner facciale (RayFace, Micrium), si prescrive al laboratorio la realizzazione di gusci in PMMA degli elementi 11, 2.1 e 4.1 con dimensioni medie. Una volta inseriti i gusci, si personalizza la dimensione verticale di occlusione (DVO) attraverso test estetici e fonetici, ottenendo un contatto uniforme con funzione di JIG. Questo consente la deprogrammazione neuromuscolare e il riposizionamento tridimensionale della mandibola.

Al meglio dei test estetici e fonetici, si rievoca il rapporto intercarcata con lo scanner intraorale, mantenendo i gusci in posizione per garantire lo stop verticale e iniettando un materiale silicico nei settori posteriori. Per completare la virtualizzazione del paziente, si registra infine la dinamica mandibolare individuale tramite uno scanner dedicato (Cyclops, ITAKA Way Med). Sulla base di questi dati, vengono commissionati al laboratorio i Rebalance in PMMA fresato.

RISULTATI

Questa tecnica fornisce un'ampia quantità di dati che permettono al laboratorio di realizzare i Rebalance, dei manufatti provvisori che si integrano con la funzione del paziente. Il clinico può così testare e regolare il piano riabilitativo in modo reversibile prima di procedere con la protesi definitiva.

CONCLUSIONI

La tecnica Vertical Box ha dimostrato fornire un protocollo predicibile e ripetibile per il ripristino della dimensione verticale di occlusione (DVO). Il flusso di lavoro complementare digitale permette di progettare protesi dentali che si adattano perfettamente alla dinamica individuale del paziente, migliorando tanto la funzionalità quanto l'estetica.

Parisi S. Disordini cranio-mandibolari. Bologna: Edizioni Martinus; 2017; 63-112.
 Galluzzi A. Il ripristino della dimensione verticale con flusso digitale: la tecnica Vertical Box. Quinl Internaz. 2023; 37(1):11-17.
 Kourilsky CM, Cris LAM, Opatan NM, Loomans BAC. Rehabilitation of worn dentition with CAD CAM restorations. A Case Report. J Adhes Dent. 2022; Apr 13; 24(1):187-194.
 Tan JG. Application of digital technology in esthetic and functional rehabilitation of severely worn dentition. Zhonghua kou Qiang Xue Za Zhi 2022 Oct; 57(10):1099-1014.



Sviluppo di un algoritmo di machine learning per la classificazione dei movimenti mandibolari acquisiti tramite un sistema ottico di tracciamento mandibolare

S. Parretti ¹, C. Valenti ^{1,2}, L. Falini ¹, P. Betti ¹, P. Negri ¹, G. Rossi ³, S. Pagano ¹

¹ Faculty of Dentistry, Department of Medicine and Surgery, University of Perugia, S. Andrea delle Fratte, 06156, Perugia, Italy,
² CISAS "Giuseppe Colombo", University of Padua, Via Venezia, 15, 35131, Padua, Italy,
³ Department of Engineering, University of Perugia, Via Goffredo Duranti, 06125, Perugia, Italy

Introduzione

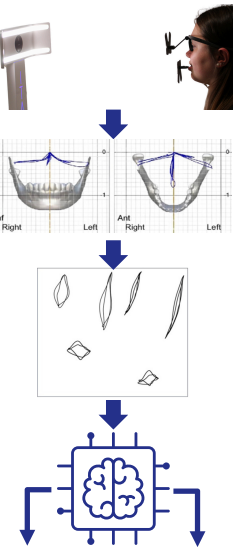
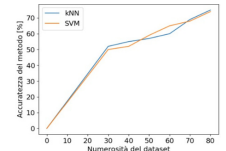
L'obiettivo principale di questo studio era quello di sviluppare un algoritmo di apprendimento automatico (machine learning) in grado di classificare i movimenti mandibolari e i relativi pattern funzionali, utilizzando i tracciati acquisiti mediante un avanzato sistema ottico di tracciamento mandibolare. Questo approccio mira a fornire un supporto concreto alla diagnosi clinica oggettiva dei disturbi temporomandibolari (DTM), patologie complesse e spesso difficili da diagnosticare in modo standardizzato a causa dell'elevata variabilità individuale e della mancanza di strumenti diagnostici quantitativi universalmente accettati.

Materiali e metodi

Per la raccolta dei dati, i movimenti mandibolari sono stati registrati tramite la sistemica Cyclops (Itaka), un dispositivo in grado di tracciare con precisione i movimenti 3D della mandibola. Il campione dello studio era costituito da 160 soggetti, tutti studenti del Corso di Laurea in Odontoiatria dell'Università degli Studi di Perugia, selezionati in modo da garantire un primo gruppo di riferimento omogeneo per la fase preliminare del progetto. I tracciati registrati sono stati classificati in due categorie: soggetti sani e soggetti affetti da DTM, sulla base di una valutazione clinica preliminare. I dati, inizialmente sottoforma di point cloud tridimensionali, sono stati convertiti in immagini bidimensionali, al fine di renderli compatibili con l'input richiesto dai modelli di classificazione. Due algoritmi di machine learning sono stati quindi implementati ed elaborati in ambiente Python: il modello k-Nearest Neighbors (kNN) e il Support Vector Machine (SVM). Per garantire un'adeguata validazione dei modelli, l'intero dataset è stato suddiviso in due sottoinsiemi: l'80% dei dati è stato utilizzato per la fase di addestramento, mentre il restante 20% è stato impiegato per la fase di test, in modo da valutare le performance predittive degli algoritmi su dati non precedentemente visti.

Risultati

I risultati ottenuti sono stati incoraggianti: il modello kNN ha raggiunto un'accuratezza del 75%, mentre l'SVM ha ottenuto un'accuratezza pari al 74,38%, dimostrando entrambi una buona capacità discriminante tra i soggetti sani e quelli con disturbi temporomandibolari. Un'ulteriore analisi ha messo in evidenza come l'aumento della dimensione del dataset incida positivamente sulle prestazioni dei modelli, suggerendo che una maggiore quantità e varietà di dati potrebbe portare a risultati diagnostici ancora più precisi.



Paziente sano **Paziente con DTM**

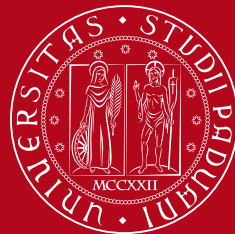
Conclusioni

I dati raccolti e i risultati dell'elaborazione confermano il potenziale degli algoritmi di apprendimento automatico come valido strumento di supporto alla diagnosi clinica dei DTM. Le prospettive future includono l'integrazione di modelli più sofisticati e la maggior eterogeneità del campione, con l'obiettivo di ridurre il margine di errore diagnostico e migliorare la standardizzazione delle procedure di analisi funzionale mandibolare.

Gravito E, Lepidi L, Teoni F, Acquaro D, A. Valenti C, Pagano S, Caporaso S. Investigation of the precision of a novel jaw tracking system in recording mandibular movements: A preliminary clinical study. Dent. 2024; 146:105401. doi: 10.1016/j.dent.2024.105401. Epub 2024 May 16. PMID: 38791916.
 Valenti C, Manfredini D, Trifunović T, Graciano E, Caporaso S, Eramo S, Trabucchi G, Pagano S. Accuracy of a new photostereogram jaw tracking system in the frontal plane at different recording distances. Int J Prosthodont. 2024; 37(4):481-486. doi: 10.1177/00220292231202424. Epub 2024 Apr 19. PMID: 38305500.

Thanks for your attention

1222 · 2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA