

IV CONGRESSO NAZIONALE

IDBN 2024

26-27 SETTEMBRE, FIRENZE

LIBRO DEGLI ABSTRACT

Italian Digital Biomanufacturing Network

IV Congresso Nazionale IDBN2024

Comitato Scientifico

Prof. Monica Carfagni | Università degli Studi di Firenze

Ing. Simona Celi | Fondazione Monasterio

Ing. Michaela Servi | Università degli Studi di Firenze

Ing. Marta Mencarelli | Università degli Studi di Firenze

Ing. Francesco Buonamici | Università degli Studi di Firenze

Ing. Emanuele Gasparotti | Fondazione Monasterio

Ing. Katia Capellini | Fondazione Monasterio

Ing. Benigno Marco Fanni | Fondazione Monasterio

Dott. Federico Mussa | Azienda Ospedaliera Universitaria Meyer – IRCCS

Dott. Mirko Scagnet | Azienda Ospedaliera Universitaria Meyer – IRCCS

Consiglio Direttivo IDBN

Prof. Paolo Domenico Parchi | Clinica Ortopedica e Traumatologia – Azienda Ospedaliero
Universitaria Pisana

Ing. Alberto Leardini | IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli

Avv. Maria Livia Rizzo | Studio legale Stefanelli & Stefanelli

Prof. Ferdinando Auricchio | Università di Pavia

Dr. Nicola Bizzotto | Ospedale di Bressanone

Con il Patronato di:



Con Supporto di:



Sponsor dell'evento:



IV Congresso Nazionale IDBN – Italian Digital Biomanufacturing Network
26-27 Settembre 2024, Firenze, Italia

Prefazione

Il Meyer Health Campus ospita il IV Congresso Nazionale IDBN 2024, che si terrà il 26 e 27 settembre 2024, organizzato dal Dipartimento di Ingegneria Industriale di Firenze e dalla Fondazione Gabriele Monasterio di Massa. Questo evento segue il successo delle precedenti edizioni, offrendo una piattaforma di grande rilevanza per la comunità scientifica.

Il Congresso si concentra sulla stampa 3D e il *bioprinting* in medicina e chirurgia, temi di cruciale importanza nel panorama scientifico attuale. In questo contesto, discuteremo le ultime scoperte, le innovazioni e le sfide che caratterizzano questi settori. Verranno discussi i diversi approcci metodologici e applicativi, promuovendo l'integrazione tra le diverse discipline mediche e le più avanzate tecnologie disponibili.

Firenze, con il suo ricco patrimonio artistico e culturale, offre lo sfondo perfetto per il nostro viaggio nel mondo della ricerca e dell'innovazione. Le pittoresche strade e i monumenti iconici di questa città culturale ci ispireranno mentre ci addentriamo nei regni della ricerca, dell'innovazione e della collaborazione.

Il Congresso riunirà ricercatori, accademici, professionisti e studenti, creando un'opportunità unica per condividere studi locali, nazionali e internazionali sulla stampa 3D e il bioprinting nel settore biomedicale. La nostra stimata schiera di relatori principali, illustri panelisti e talentuosi partecipanti prenderanno parte a discussioni stimolanti e presentazioni ispiratrici che accenderanno la creatività e la passione.

Spero che la lettura di questo lavoro sia di vostro gradimento e che molti di voi possano partecipare alle future edizioni del congresso per discutere delle migliori pratiche e dei progressi raggiunti nella ricerca nelle neuroscienze e nella biomedicina.

Prof. Monica Carfagni

Ing. Simona Celi

Presidenti del Congresso



Indice

From ADAM to ADAM ϕ : Design and development of a 3D printed modular respiratory phantom for radiotherapy treatments	7
Un nuovo archivio per la valutazione degli impianti personalizzati “custom-made” in Ortopedia: l’esperienza dell’Istituto Ortopedico Rizzoli.....	8
Biostampa 3D di idrogel-hiPSC per l’ingegneria del tessuto cardiaco	9
La stampa 3D nell’osteotomia tibiale alta personalizzata. Analisi morfologica In-Vivo.....	10
Recupero funzionale dopo osteotomia tibiale alta personalizzata supportato da nuove metodiche di valutazione	11
3D surgical planning and printing for customized devices in massive hip reconstruction of oncological patients.....	12
Sviluppo e realizzazione di un simulatore pediatrico per la formazione sulla procedura di accesso intraosseo.....	13
Realizzazione di un fantoccio cerebrale per la validazione di un tool di craniotomia automatica basato sull’impiego di Mixed Reality	14
Comparison between biological material and 3D printed BSP (Basic Suture Phantom) in suture learning.....	15
Prototipazione e testing di un nuovo simulatore per procedure di riparazione di difetti cardiaci congeniti.....	16
Modelli stampati 3D per il planning chirurgico nella rigidità post-traumatica di gomito.....	17
Modello Muscoloscheletrico di Mandibola per Pianificazione Preoperatoria	18
3D-Printed Liquid Crystalline Elastomer as Artificial Muscles for Biomedical Application	19
Training nell’ossiculoplastica autologa: il ruolo della stampa 3D	20
Sviluppo e validazione preliminare di un simulatore paziente-specifico per il training delle procedure eco-guidate nel distretto testa-collo.....	21
Bioinks di polimeri naturali per modelli in vitro di leucemia linfatica cronica (CLL)	22
Design di un dispositivo realizzato in NiTi mediante processo LPBF per il trattamento di craniosinostosi unicoronale	23
Ortesi stampate in 3d, lo stato dell’arte presso l’Azienda ospedaliera universitaria Meyer- IRCCS....	24
Sviluppo di un bioink a base di gelatina per il 3D bioprinting di un modello semplificato di cute	25
Caratterizzazione meccanica di materiali per stampa 3D per applicazioni in-vitro di fluidodinamica cardiovascolare.....	26
Epitesi Nasale Siliconica con Supporto di Occhiali:.....	27
Case Report di Riabilitazione Protetica Post-Rinectomia.....	27
Metodologia <i>in silico</i> per la predizione delle proprietà elastiche di scaffold in PLA stampati 3D	28
HAMLET: development of a generative Deep Learning algorithm to guide craniofacial bone defects reconstruction.....	29



Three-Dimensional Bioprinted Controlled Release Scaffold Containing Mesenchymal Stem/Stromal Lyosecretome for Bone Regeneration	30
Progetto CRI02AR – Utilizzo di stampa 3D e Realtà Aumentata nel trattamento crioterapico del Tumore a Cellule Giganti dell'Osso	31
3D bioprinted osteosarcoma constructs: an alternative model for Boron Neutron Capture Therapy studies.....	32
Prosthetic-guided mandibular reconstruction: Avoidance of the double- barrel fibula free flap with custom morphologic reconstructive implants.....	33
Le complicanze nella ricostruzione custom-made della regione periacetabolare	34
Ricostruzioni Custom-made di Scapola dopo Resezioni per Tumori Primitivi. Quale Design Protesico nelle Diverse Situazioni Cliniche?	35
Salvataggio dell'articolazione del gomito utilizzando una componente custom made nelle revisioni di protesi di omero in oncologia ortopedica.....	36
Resezione juxta-articolare per tumori primitivi ossei del ginocchio utilizzando mascherine di taglio stampate in 3D e ricostruzione biologica	37
Metodologia automatizzata per la valutazione dell'accuratezza della chirurgia mandibolare computer-assistita.....	38
Caratterizzazione dei Materiali per Simulatori Chirurgici di Modelli Vascolari.....	39
Manufacturing process of microstructured surfaces to enhance	40
hemocompatibility tested in a microfluidic circuit.....	40
Integrazione di Bioprinting e Simulazioni Numeriche per la Validazione Sperimentale degli Endograft nella Chirurgia delle Patologie Aortiche	41
Valutazione della resistenza a corrosione e tribocorrosione della lega CoCrW prodotta mediante tecnica SLM	42
Miglioramento delle caratteristiche superficiali di un acciaio inox 316 L per applicazioni biomedicali prodotto mediante manifattura additiva.....	43
Integrazione di un'applicazione di Realtà Virtuale per la formazione medica in Moodle: uno studio di usabilità	44
Stabilità microstrutturale di una lega biocompatibile Co28Cr6Mo prodotta mediante manifattura additiva.....	45
Advanced biomechanical modeling techniques and materials' analysis in dental structures	46
La stampa 3D in Monasterio per la pianificazione e simulazione paziente-specifico del trattamento di cardiopatie congenite.....	47
Utilizzo di banco prova basato su stampa 3D per simulare l'interazione del cuore con l'ECMO veno-arterioso periferico	48
La stampa 3D per la pianificazione chirurgica di patologie cardiovascolari complesse: l'esperienza della Monasterio.....	49
Development and testing of a patient-specific cardiovascular simulator for interventional valve-in-valve procedure training.....	50
Il ruolo della stampa 3D nella pianificazione e nel training della chiusura dell'auricola sinistra	51



Sviluppo di un Metodo Digitalizzato per la Progettazione e la Manifattura Additiva di Mantentori di Spazio Ortodontici.....	52
Circular Economy and 3D printing in the healthcare sector	53
Humanitas 3D Innovation Lab: Premises and expected results	54
Revolutionizing Total Sternectomy: Insights from Two Case Reports and Innovative Solutions with 3D Printing Technology	55
CAD/CAM Maxillary Reconstruction with Free Fibula Flaps and Simultaneous Dental Implant: Single Center Experience	56
Design and optimization of a 3D-bioprinted hydrogel as in vitro model for head and neck cancer	57
Stampa 3D di una lega Nitinol con proprietà antibatteriche	58
The PRECISE project: on the role of 3D reconstruction based on image registration for maxillofacial applications.....	59
The European Special Interest Group for 3D Technologies and Printing in Hospitals	60
3D Printing for Surgical Cardiac Support	61
Nuove frontiere per la rinopoesi pediatrica: impiego degli indici antropometrici nel planning preoperatorio e analisi comparativa con caso reale di ricostruzione 3D-aided	62



From ADAM to ADAM φ : Design and development of a 3D printed modular respiratory phantom for radiotherapy treatments

Andrea Profili¹, Michaela Servi¹, Yary Volpe¹ e Stefania Pallotta^{2,3}

¹ Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Firenze

² Dipartimento di Scienze Biomediche, Sperimentali e Cliniche, Università degli Studi di Firenze

³AOU Careggi, Firenze, Italia

Introduzione – Nella cura di lesioni mobili tramite radioterapia sono impiegate molteplici strategie per trattare il tumore risparmiando i tessuti circostanti. Con l'obiettivo di testare l'erogazione della dose assorbita in trattamenti radioterapici di tumori polmonari è stato sviluppato il manichino ADAM (Anthropomorphic Dynamic breAthing Model) [1,2] che simula la respirazione del paziente. L'obiettivo di questo studio è creare un nuovo manichino modulare ADAM φ (Anthropomorphic Dynamic breAthing Model - φ male&female) sulla base del già esistente ADAM, impiegabile nella fase di test di trattamenti radioterapici al seno effettuati in respiro libero ed in apnea.

Metodi – Tramite la tomografia computerizzata è stato ricostruito il manichino 3D di ADAM, che è stato usato come punto di partenza per lo sviluppo di ADAM φ . Dopo aver modellato le anatomie coinvolte è stata fatta un'analisi dei materiali stampabili in 3D e non [3-5], con proprietà tissue mimicking per la riproduzione di tessuti e organi coinvolti. Il torso, il petto e il seno sono stati stampati in PLA, per le coste e la colonna vertebrale è stato utilizzato PLA con aggiunta al 50% di polvere di pietra (Stonefill™). È stato successivamente valutato come rendere riproducibile la movimentazione del petto di ADAM φ mantenendo il controller Arduino e la struttura presenti in ADAM, seguendo le indicazioni cliniche.

Risultati – Dall'analisi e dai test dei materiali in esame, il manichino ADAM φ ha dimostrato di riprodurre fedelmente i tessuti umani in termini di Unità Hounsfield. Grazie alla sua struttura antropomorfa modulare e al suo design, consente una rapida transizione da un manichino maschile (per la valutazione del trattamento al polmone) a uno femminile (per la valutazione del trattamento al seno).

Discussione – Il manichino sviluppato dimostra prestazioni adeguate per i futuri test dei dispositivi di gating e tracking utilizzati nel trattamento delle lesioni mammarie o polmonari in movimento. È quindi afferabile che, grazie alla propria modularità, possa essere utilizzato per la simulazione realistica di molteplici situazioni cliniche mantenendo la facilità d'uso.

Riferimenti

1. Pallotta S, Calusi S, et al. ADAM: A breathing phantom for lung SBRT quality assurance. *Phys. Med.* (2017).
2. Pallotta S, Calusi S, et al. ADAM phantom to test 4D medical imaging and dose delivery devices. *Phys Med Biol.* (2019).
3. Conor K, McGarry et al. Tissue mimicking materials for imaging and therapy phantoms: a review, 2020 *Phys. Med. Biol.* **65** 23TR01
4. Anwari, V., Lai, A., Ursani, A. et al. 3D printed CT-based abdominal structure mannequin for enabling research. *3D Print Med* **6**, 3 (2020).
5. Badiuk, Sasaki, Rickey, An anthropomorphic maxillofacial phantom using 3-dimensional printing, polyurethane rubber and epoxy resin for dental imaging and dosimetry.



Un nuovo archivio per la valutazione degli impianti personalizzati “custom-made” in Ortopedia: l’esperienza dell’Istituto Ortopedico Rizzoli

Claudia Capellini¹, Barbara Bordini¹, Claudio Belvedere¹ and Alberto Leardini¹

¹ IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

Introduzione – L’utilizzo della moderna tecnologia di produzione additiva (o stampa 3D) per la realizzazione di impianti custom in ortopedia ha migliorato notevolmente i risultati clinici nel trattamento dei casi complessi [1], consentendo di progettare dispositivi medici su misura, che si adattano alle esigenze specifiche di ogni singolo paziente [2], [3]. Tuttavia, le attuali limitate indicazioni per gli impianti personalizzati, rendono problematico tenere traccia del numero, della tipologia e delle caratteristiche fondamentali di quelli operati in Italia, così come monitorare le protesi e notificare eventuali rischi associati. Pertanto, nasce la necessità di creare un registro specializzato che sia in grado di raccogliere le più rilevanti informazioni cliniche, chirurgiche e industriali. In questo contesto, l’obiettivo è di sviluppare e testare l’applicabilità di un archivio elettronico per gli impianti custom in ortopedia.

Metodi – L’archivio deve contenere informazioni riguardanti dettagli personali, regione anatomica di intervento, diagnosi, approccio chirurgico, caratteristiche dell’impianto e della manifattura, trattamento farmacologico e possibili complicazioni. Una volta convalidato con dati retrospettivi reali e adattato alle necessità, l’archivio verrà poi popolato anche con casi prospettici. Una versione digitale sarà sviluppata sulla piattaforma REDCap [4], [5], standard di fatto internazionale per i database negli studi clinici.

Risultati – Una prima versione del Case Report Form (CRF) è stata strutturata seguendo il Metodo Delphi [6] e con il supporto degli esperti del nostro Istituto, sia addetti del RIPO, che bioingegneri e chirurghi coinvolti negli impianti custom-made. Questo database dovrà essere in grado di raccogliere tutte le necessarie informazioni e soddisfare così le prevedibili richieste nello spettro più ampio possibile di pazienti con impianti ortopedici custom.

Discussione – Gli impianti personalizzati stanno diventando un’opzione accessibile in molti centri ortopedici e gli archivi di dati sono ora necessari per raccogliere e trattare attentamente i dati pertinenti, promuovendo così possibili futuri studi osservazionali, nonché valutare quantitativamente i risultati e i rischi, a livello nazionale.

Riferimenti

1. Durastanti G, Belvedere C, Ruggeri M, Donati D.M, Spazzoli B, Leardini A.: A Pelvic Reconstruction Procedure for Custom-Made Prosthesis Design of Bone Tumor Surgical Treatment. *Appl.Sci.* 12, 1654 (2022).
2. Faldini C, Mazzotti A, Belvedere C, Durastanti G, Panciera A, Geraci G, Leardini A.: A new ligament-compatible patient-specific 3D-printed implant and instrumentation for total ankle arthroplasty: from biomechanical studies to clinical cases. *J Orthop Traumatol* 21(1), 16 (2020).
3. Wixted C.M, Petersone J.R, Kadakia R.J, Adams S.B.: Three-dimensional Printing in Orthopaedic Surgery: Current Applications and Future Developments. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*, 5(4), (2021).
4. Harris P.A, Taylor R, Minor B.L, Elliot V, Fernandez M, O’Neal L, McLeod L, Delacqua G, Delacqua F, Kirby J, Duda SN. REDCap Consortium, The REDCap consortium: Building an international community of software partners, *J Biomed Inform.* May 9, (2019).
5. Harris P.A, Taylor R, Thielke R, Payne J, Gonzalez N, Conde J. Research electronic data capture (REDCap) – A metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. *J Biomed Inform.* 42(2), 377-81 (2009).
6. Iqbal S. and Pison-Young L. The Delphi method. *The Psychologist* 22(7), 598–601 (2009).



Biostampa 3D di idrogel-hiPSC per l'ingegneria del tessuto cardiaco

Virginia Deidda¹, Isabel Ventisette¹, Marianna Langione³, José Manuel Pioner^{2,3}, Caterina Credi^{4,5} e Federico Carpi¹

¹ Department of Industrial Engineering, University of Florence, Florence, Italy

² Department of Biology, University of Florence, Florence, Italy

³ Department of Experimental and Clinical Medicine, University of Florence, Florence, Italy

⁴ European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy, University of Florence, Sesto Fiorentino, Italy

⁵ National Institute of Optics – National Research Council, Sesto Fiorentino, Italy

Introduzione – La biostampa 3D per l'ingegneria del tessuto cardiaco necessita di bioinchiostri che siano stampabili tramite estrusione consentendo al tempo stesso la sopravvivenza, la crescita e il differenziamento cellulare. Tra i vari materiali disponibili, i bioinchiostri a base di gelatina metacrilata (GelMA) a basse concentrazioni ($\leq 5\%$ p/V) favoriscono la vitalità cellulare, ma presentano una bassa viscosità, limitandone la stampabilità [1],[2].

Metodi – In questo lavoro, è stato sviluppato un nuovo bioinchiostro fotoreticolabile a base di GelMA. In particolare, è stato studiato l'effetto dell'aggiunta di gomma di xantano (XG) sulle proprietà meccaniche della formulazione, i cui parametri di stampa sono stati ottimizzati.

Risultati – Campioni del nuovo bioinchiostro GelMA-XG hanno mostrato moduli elastici di circa 8 kPa, confrontabili con quelli del tessuto cardiaco. Prove di adesione e vitalità cellulare in 2D e in 3D hanno indicato la capacità del bioinchiostro di garantire la sopravvivenza e la crescita cellulare (con rate $>150\%$) di cellule staminali pluripotenti indotte umane (hiPSC), e il loro differenziamento in cardiomiociti (Fig. 1a). Infine, prove di stampa 3D hanno dimostrato la possibilità di estrarre costrutti sub-millimetrici con spessore omogeneo (Fig. 1b,c).

Discussione – Ulteriori studi sono necessari per affrontare le seguenti questioni: (i) chiarire come i parametri di stampa incidano sulla vitalità delle cellule; (ii) aumentare la densità cellulare all'interno dei costrutti, limitando la sedimentazione cellulare prima della stampa; (iii) definire strategie per favorire l'organizzazione spaziale delle cellule all'interno dei costrutti.

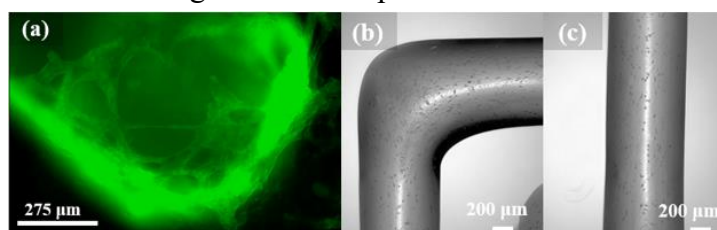


Fig. 1. (a) Immagine al microscopio a fluorescenza di cardiomiociti all'interno del bioinchiostro GelMA-XG; (b), (c) Immagini al microscopio ottico di costrutti biostampati in GelMA-XG.

Riferimenti

1. Jain, T., Baker, H. B., Gipsov, A., Fisher, J. P., Joy, A., Kaplan, D. S., & Isayeva, I: Impact of cell density on the bioprinting of gelatin methacrylate (GelMA) bioinks. *Bioprinting*, 22, e00131 (2021).
2. Yin, J., Yan, M., Wang, Y., Fu, J., & Suo, H: 3D bioprinting of low-concentration cell-laden gelatin methacrylate (GelMA) bioinks with a two-step cross-linking strategy. *ACS applied materials & interfaces*, 10(8), 6849-6857 (2018).

Ringraziamenti

Si ringrazia il sostegno finanziario del Ministero italiano dell'Università e della Ricerca (progetto PNRR "AGE-IT - Invecchiare bene in una società che invecchia").



La stampa 3D nell'osteotomia tibiale alta personalizzata. Analisi morfologica In-Vivo.

Andrea Varaschin¹, Nicoletta Sileoni¹, Harinderjit Singh Gill², Alisdair MacLeod², Maurizio Ortolani¹, Giacomo Dal Fabbro³, Marco Miceli⁴, Stefano Zaffagnini³, Alberto Leardini¹ e Claudio Belvedere¹

¹ Laboratorio di Analisi del Movimento, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

² CTI/Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath, UK

³ Clinica Ortopedica e Traumatologica II, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

⁴ Radiologia diagnostica ed interventistica, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

Introduzione – Nei pazienti con eccessivo varismo al ginocchio, l'Osteotomia Tibiale Alta (OTA) rappresenta un valido trattamento per riallineare l'arto inferiore e decomprimere il compartimento mediale, preservando l'anatomia e rallentando la gonartrosi [1,2]. Essa si basa su un'osteotomia a cuneo aperto stabilizzata con una placca. Le tecniche tradizionali non prevedono pianificazione preoperatoria e placche personalizzate, risultando talvolta inaccurate ed imprecise [1]. Per ovviare a ciò, recentemente è stata introdotta una nuova procedura pienamente personalizzata che, sulla base di ricostruzioni morfologiche da imaging medicale proprie del paziente, prevede pianificazione chirurgica, disegno e realizzazione della placca con stampa 3D in titanio. Sebbene il tutto sia stato testato positivamente in-silico, incluse le proprietà della placca personalizzata [2], rimane da verificare il comportamento di tale procedura in-vivo. Lo scopo di tale studio è valutare nel post-operatorio i parametri di pianificazione e di disegno della placca, definiti virtualmente in 3D nel pre-operatorio.

Metodi – 25 pazienti sono stati selezionati per OTA personalizzato. Tomografia computerizzata in ortostasi ed immagini X-ray panoramiche sono state eseguite nel preoperatorio per le pianificazioni chirurgiche ed il disegno di guide e placche personalizzate [2,3], nonché post-OTA a 6 mesi di follow-up dall'intervento. Ricostruzioni morfologiche da segmentazione di DICOM sono state eseguite per confronti tramite Analisi basate sulle Mappe di Distanze (AMD). Nel dettaglio, tra pianificazione pre-operatoria e follow-up postoperatorio, sono state valutate: i) la deformazione della placca personalizzata, ii) la correzione della tibia, e iii) l'aderenza placca-osso.

Risultati – A valle di errori di segmentazione e slicing da TC pari a 0.6 mm circa, AMD mostra: i) deformazioni tra placca pianificata e post-impianto al follow-up minori di 1 mm, con sovrapponibilità pari all'85%; ii) discrepanza tra allineamento pianificato e postoperatorio pari a 1.6 ± 1.5 mm, iii) aderenza placca-osso pari a 1.5 ± 0.5 mm.

Discussione – Il buon mantenimento delle forme della placca ottenuta con stampa 3D, le limitate discrepanze tra pianificazione e post-operatorio, oltre all'ottima aderenza della placca all'osso confermano robustezza e accuratezza dell'OTA personalizzata e della rilevanza della stampa 3D in questo trattamento chirurgico. Ulteriori indagini in merito sono in corso.

Riferimenti

1. Belvedere, C., et al.: 3D medical imaging analysis, patient-specific instrumentation and individualized implant design, with additive manufacturing creates a new personalized high tibial osteotomy treatment option. *J Mech Med Biol*, 23(6), 2340041 (2023).
2. MacLeod, A.R., et al.: The effect of plate design, bridging span, and fracture healing on the performance of high tibial osteotomy plates. *Bone Joint Res*;7(12), 639-649 (2018).



Recupero funzionale dopo osteotomia tibiale alta personalizzata supportato da nuove metodiche di valutazione

Nicoletta Sileoni¹, Andrea Varaschin¹, Harinderjit Singh Gill², Alisdair MacLeod², Maurizio Ortolani¹, Giacomo Dal Fabbro³, Fabio Norvillo⁴, Stefano Zaffagnini³, Alberto Leardini¹ e Claudio Belvedere¹

¹ Laboratorio di Analisi del Movimento, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

² CTI/Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath, UK

³ Clinica Ortopedica e Traumatologica II, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

⁴ Radiologia diagnostica ed interventistica, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

Introduzione – L'eccessivo varismo del ginocchio causa sovraccarico mediale e gonartrosi [1,2]. Nei soggetti affetti, l'Osteotomia Tibiale Alta (OTA) è praticata per riallineare l'arto inferiore. L'OTA standard prevede un'osteotomia a cuneo aperto senza pianificazione, stabilizzata con placca generica. Nonostante i buoni risultati, sono riportate problematiche, specialmente in merito al recupero funzionale, forse dovute all'approccio non personalizzato [2]. Una recente procedura per OTA prevede la personalizzazione di pianificazione, disegno e realizzazione della placca in titanio con stampa 3D, con ottimi risultati circa il riallineamento [1]. Resta da verificare il recupero funzionale post-OTA personalizzata. Lo scopo di tale studio è eseguire valutazioni clinico-funzionali su un trial clinico di pazienti con OTA personalizzata, combinando Gait-Analysis (GA) e Tomografia-Computerizzata (TC) [1].

Metodi – 25 pazienti sono stati selezionati per OTA personalizzata. Prima dell'OTA e dopo 6 mesi, essi hanno ricevuto valutazioni radiografiche e clinico-funzionali via GA combinata con modelli anatomici ricostruiti da TC usando un apposito markerset [1]. L'imaging pre-operatorio è stata usata per pianificare e disegnare placche e guide chirurgiche personalizzate, poi realizzate con stampa 3D [2]. Oltre all'analisi cinematica e cinetica, le Forze di Reazione al Suolo (FRS) sono state registrate sulla tibia per ricavare la loro intersezione col piatto tibiale, così caratterizzando allineamento e carico a livello tibio-femorale.

Risultati – Rispetto al preoperatorio, nel post operatorio la deformità cala significativamente ($R=-0.8$, $p<0.0001$) con ottimi score clinici ($p<0.001$), mentre l'analisi cinematica e cinetica evidenzia valori tendenti sempre alla normalità, con momenti ab/adduttori significativamente inferiori e maggiormente fisiologici, e quindi un miglior bilanciamento dei carichi compartimentali. Ciò si evince dalla FRS, che, rispetto al preoperatorio, risulta prossima al centro della spina tibiale post-OTA ($p<0.0001$) come desiderato.

Discussione – I risultati confermano l'efficacia dell'OTA personalizzata nel ripristino funzionale associato ad un miglior allineamento e bilanciamento dei carichi articolari. La pianificazione chirurgica e le placche personalizzate tramite stampa 3D sembrano migliorare notevolmente gli esiti della procedura standard per OTA.

Riferimenti

1. Ruggeri, M., et al.: Superimposition of ground reaction force on tibial-plateau supporting diagnostics and post-operative evaluations in high-tibial osteotomy. A novel methodology. *Gait Posture*, 94:144-152 (2022).
2. Belvedere, C., et al.: 3D medical imaging analysis, patient-specific instrumentation and individualized implant design, with additive manufacturing creates a new personalized high tibial osteotomy treatment option. *J Mech Med Biol*, 23(6), 2340041 (2023).



3D surgical planning and printing for customized devices in massive hip reconstruction of oncological patients

Yazan Haidar¹, Benedetta Spazzoli², Davide Maria Donati²,

Alberto Leardini¹, Claudio Belvedere¹

¹ Laboratorio di Analisi del Movimento, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

² Clinica Ortopedica e Traumatologica III, IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italia

Introduction – 3D-printing has significantly impacted surgical procedures, particularly the production of patient-specific surgical instruments and customized implants, especially in orthopedic oncology. [1]. Additional investigation is here necessary to further substantiate the benefits of its use. In this study, we aim to investigate the impact of 3D-printed customized implants in massive pelvic reconstruction, with focus on oncological patients.

Methods – 16 patients affected by a malignant monolateral pelvic bone tumor (condrosarcome grade II) with type I+II+III lesion (based on Enneking's classification), i.e. extension on iliac, acetabulum and, also in pubic and ischiatic area, were selected and evenly distributed between two groups. One group received bone graft replacements, using suitably prepared bone-bank allografts, and the other received custom 3D-printed implant replacements [2]. The latter were surgically planned and their shapes were customized based on medical imaging data, along with relevant anatomical reconstructions, from computed tomography and nuclear magnetic resonance targeting both the affected, i.e. the side under treatment, and unaffected side (used as a reference). Postoperative computed tomography scans were taken for both patient groups and were used for 3D bilateral pelvic reconstruction and analysis [3]. The hip rotation center, the greater trochanter offset, and the acetabular tilt angle in the reconstructed side were compared with the corresponding ones in the unaffected side, used as the reference. A number of anatomical landmarks were palpated virtually and processed with custom Matlab®, scripts (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) also to obtain additional measurements.

Results – The conventional bone graft and the 3D-printed implant replacements showed accurate and statistically similar results in terms of reconstruction of hip rotation center and greater trochanter offset. The 3D-printed customized implants exhibited greater accuracy in reconstructing the acetabular inclination angle, potentially reducing the risk of cup-to-neck impingement and thus improving the overall stability of hip reconstructions.

Discussion – The results obtained provides information on the accuracy of 3D printed custom implants compared with conventional reconstruction technique. The present study specifically highlights the potential advantages of using 3D printing in custom massive pelvic reconstruction in bone oncology and personalized orthopedic treatments in general.

References

1. Broekhuis, D., et al.: Custom designed and 3D-printed titanium pelvic implants for acetabular reconstruction after tumour resection. *HIP International*, 33(5):905–915 (2023).
2. De Paolis, M., et al.: Custom-made 3D-Printed Prosthesis in Periacetabular Resections Through a Novel Ileo-adductor Approach. *Orthopedics*, 45(2):e110-e114 (2022).
3. Durastanti, G., et al.: A Pelvic Reconstruction Procedure for Custom-Made Prosthesis Design of Bone Tumor Surgical Treatments. *Appl. Sci.*, 12(3): 1654 (2022).



Sviluppo e realizzazione di un simulatore pediatrico per la formazione sulla procedura di accesso intraosseo

Antonio Marzola¹, Marta Mencarelli¹, Lorenzo Torzini¹, Marco De Luca², Monica Carfagni¹,
Yary Volpe¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Firenze, Via di Santa Marta, 3, 50139, Firenze,
Italia

² Azienda Ospedaliera Universitaria Meyer – IRCCS, Viale Gaetano Pieraccini, 24, 50139, Firenze,
Italia

Introduzione – L'accesso intraosseo è una procedura di emergenza per introdurre fluidi e componenti ematici nella circolazione sistemica [1-2] che richiede un'adeguata formazione del personale sanitario. Per tale motivo, il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze e l'Azienda Ospedaliera Universitaria Meyer IRCCS, all'interno del laboratorio congiunto T3Ddy, hanno avviato un progetto condiviso per sviluppare un simulatore pediatrico ad alto realismo e basso costo per l'accesso intraosseo dalla tibia prossimale.

Metodi – Le caratteristiche anatomiche del simulatore sono state estrapolate con il software Materialise Mimics 26® da immagini tomografiche anonimizzate di un paziente di 5 anni, ottenendo la geometria tridimensionale delle strutture anatomiche pertinenti alla simulazione cioè tibia, perone, femore distale, tessuti muscolari e pelle. I modelli così ottenuti sono stati processati con Geomagic DesignX® per la progettazione del simulatore.

Il simulatore è stato poi realizzato utilizzando silicone per riprodurre tessuti muscolari e pelle, mentre le strutture rigide e gli stampi per il colaggio del silicone sono stati prodotti con tecniche di produzione additiva, usando la tecnologia Fused Deposition Modelling. I materiali sono stati selezionati attraverso test preliminari condotti su provini realizzati con varie combinazioni di materiali rigidi e silicone. Personale medico specializzato ha condotto i test utilizzando il dispositivo EZ-IO® valutando il ritorno aptico di ciascun provino.

Durante i test, è stata sviluppata e testata una soluzione per garantire l'adesione del silicone al materiale rigido. Questa soluzione prevede la realizzazione di una superficie di interfaccia porosa, che permette al silicone di penetrare nello strato inferiore garantendo un ancoraggio stabile una volta polimerizzato.

Risultati – Sono stati scelti acido polilattico per riprodurre l'osso, silicone EcoFlex 00-10 per simulare muscoli, ipoderma e derma e DragonSkin 30 per l'epidermide. Il simulatore prevede uno snodo all'altezza del ginocchio per riprodurre l'articolazione e una sezione sostituibile nella parte prossimale della tibia per consentirne la sostituzione dopo un determinato numero di simulazioni.

Discussione – Il simulatore pediatrico sviluppato permette una simulazione realistica dell'accesso intraosseo dalla tibia prossimale. La selezione dei materiali e il design consentono un addestramento efficace e realistico per gli operatori sanitari, promuovendo un miglioramento delle abilità procedurali preservando al contempo la sicurezza dei pazienti.

Riferimenti

1. Bewick, V. J.: Intraosseous cannulation in children. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine* 24(11), 669-673 (2023).
2. Hoskins, M.: Current utilization of interosseous access in pediatrics: a population-based analysis using an EHR database, TriNetX. *International Journal of Emergency Medicine* 15(65), (2022).



Realizzazione di un fantoccio cerebrale per la validazione di un tool di craniotomia automatica basato sull'impiego di Mixed Reality

Fabio Morelli¹, Alessandro Albanesi¹, Marco Schiariti², Paolo Ferroli² e Alberto Redaelli¹

¹ DEIB, Politecnico Di Milano, Milano, Italia

² Dipartimento di Neurochirurgia, Istituto Neurologico "Carlo Besta", Milano, Italia

Introduzione – L'identificazione precisa dell'area di craniotomia è cruciale per minimizzare l'invasività in neurochirurgia. La neuronavigazione è, ad oggi, il metodo standard impiegato a tale scopo, tuttavia, essa non può prescindere dall'uso di frames stereotassici e dall'esperienza del clinico [1]. La Mixed Reality (XR) si propone come strumento alternativo di guida intraoperatoria, ma manca ancora di un benchmarking accurato [2]. In questo lavoro, tecniche di stampa 3D e materiali biomimetici sono utilizzati per realizzare un fantoccio anatomicamente realistico per validare un tool di craniotomia automatica con XR da noi sviluppato.

Metodi – Analizzando le casistiche di meningiomi dell'Istituto Neurologico "Carlo Besta", sono state identificate quattro tipologie di accesso chirurgico. Dalle immagini MRI si è derivato un modello di capo con quattro meningiomi. Il fantoccio è stato stampato in materiale polimerico e la cavità cerebrale è stata colata in silicone [2][3]. È stato poi sottoposto a TAC e le immagini ottenute sono state utilizzate come baseline per i due metodi di craniotomia (figura 1). Sul fantoccio si è valutata, in fase intraoperatoria, l'accuratezza di ciascun metodo.

Risultati – La fedeltà anatomica del fantoccio, la forma realistica dei meningiomi e i materiali impiegati producono immagini TAC interpretabili dai clinici, dalla cui segmentazione si ottiene agevolmente il modello olografico per il sistema XR sviluppato. Le aree di craniotomia suggerite dal tool automatico sono minori ma più irregolari rispetto a quelle disegnate dai clinici. Durante la chirurgia, l'individuazione del tumore è immediata e chiara nei quattro casi.

Discussione – I risultati di questo lavoro si inseriscono in uno scenario innovativo, dimostrandosi utili e promettenti. Perfezionando il feedback aptico della componente cerebrale si può mirare a indagare tumori più profondi, puntando ad approcci sempre meno invasivi.

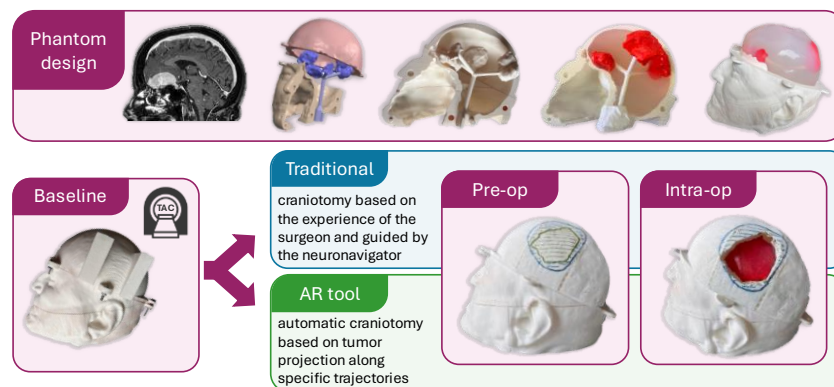


Fig. 1. Phantom design) Processo di realizzazione del fantoccio: segmentazione di immagini TAC, creazione di un modello CAD modulare, stampa 3d, e la colata dell'encefalo con un materiale silicico. **Baseline**) Il fantoccio finale sottoposto a TAC è l'input dei due metodi di individuazione dell'area di craniotomia: metodo tradizionale (area azzurra) e automatico con XR (area verde).

Riferimenti

1. Stadie AT et al. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2011 Sep; 6(5):565-72.
2. Palumbo, M.C. et al. MICCAI 2022.
3. Navarro-Lozoya M et al, Materialia (Oxf). 2019 Dec.



Comparison between biological material and 3D printed BSP (Basic Suture Phantom) in suture learning

Veronica Lodovici¹, Maria Chiara Donati¹ e Paolo Domenico Parchi¹

¹ Università di Pisa, Pisa, Italia

Introduzione – Il corretto apprendimento delle tecniche di sutura ed il training degli studenti di medicina e dei giovani chirurghi rappresenta un aspetto molto importante ma spesso poco indagato e standardizzato. Sono stati proposti vari materiali per prove di sutura (lenzuolo, buccia di arancia, tessuti sintetici), difficili da standardizzare e che non riproducono fedelmente le caratteristiche dei tessuti umani. Scopo di questo studio è valutare le performance di un BSP di sutura ottenuto mediante stampa 3D in termini di scorrevolezza dell'ago, tenuta meccanica alla trazione e al taglio, e resistenza alla penetrazione dell'ago.

Materiali e Metodi – Il BSP è stato realizzato a endocas. Lo studio ha arruolato studenti di medicina del 4° e 5° anno e specializzandi in ortopedia del 1° e 2° anno su base volontaria, durante le normali attività di tirocinio. I test di sutura sono stati eseguiti dopo una lezione teorica sulle tecniche di sutura, utilizzando buccia di arancia o banana, cosce di pollo e il BSP stampato in 3D. Alla fine di ogni sessione, è stato somministrato un questionario con 11 domande per ciascun materiale per valutare il realismo e l'utilità come strumento di training.

Risultati – Sono stati arruolati 119 partecipanti, di cui 84 hanno completato tutte le sessioni di test e il questionario. I questionari hanno mostrato un alto grado di accordo nel considerare il BSP uno strumento che replica realisticamente i tessuti umani (cute e sottocute), simile alle cosce di pollo. Tutti i partecipanti hanno valutato positivamente l'utilizzo del BSP come strumento di apprendimento. Anche i partecipanti più esperti hanno ritenuto le sessioni formative utili per la loro pratica clinica.

Discussione – Il BSP di sutura offre un'esperienza di apprendimento realistica, ripetibile e non deteriorabile, senza necessità di conservazioni e spese particolari. La consistenza del materiale replica realisticamente la cute e sottocute, con feedback visivo e di forza realistici. Il training su BSP si è dimostrato utile e riproducibile per sviluppare e migliorare le tecniche di sutura in studenti di medicina e specializzandi ai primi anni di formazione.

Riferimenti

1. Malik HH, Darwood AR, Shaunak S, Kulatilake P, El-Hilly AA, Mulki O, Baskaradas A. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. *J Surg Res.* 2015 Dec;199(2):512-22. doi: 10.1016/j.jss.2015.06.051. Epub 2015 Jun 26. PMID: 26255224.
2. Wong K, Bhama PK, d'Amour Mazimpaka J, Dusabimana R, Lee LN, Shaye DA. Banana fruit: An "appealing" alternative for practicing suture techniques in resource-limited settings. *Am J Otolaryngol.* 2018 Sep-Oct;39(5):582-584. doi: 10.1016/j.amjoto.2018.06.021. Epub 2018 Jun 30. PMID: 30135033.
3. Goudie C, Shanahan J, Gill A, Murphy D, Dubrowski A. Investigating the Efficacy of Anatomical Silicone Models Developed from a 3D Printed Mold for Perineal Repair Suturing Simulation. *Cureus.* 2018 Aug 22;10(8):e3181. doi: 10.7759/cureus.3181. PMID: 30405980; PMCID: PMC6205908.
4. Blau, J. A., Shamma, R. L., Buretta, K. J., Anolik, R. A., Avashia, Y. J., & Zenn, M. R. (2016). Synthetic Skin vs Human Tissue for Medical Student Suture Education: A Randomized Controlled Trial. In *Journal of the American College of Surgeons* (Vol. 223, pp. S134–S135). Elsevier.
5. Jacoby, Jacob and Michael S. Matell. "Three-Point Likert Scales Are Good Enough." *Journal of Marketing Research* 8 (1971): 495 - 500.



Prototipazione e testing di un nuovo simulatore per procedure di riparazione di difetti cardiaci congeniti

Alessandro Maria Marchini¹, Michele Bertolini¹, Francesco De Gaetano¹, Claudio Capelli²,
Giorgio Colombo¹

¹ Politecnico di Milano, Milano, Italia

² University College London, Londra, UK

Introduzione – I difetti cardiaci congeniti sono un gruppo di anomalie strutturali del cuore presenti alla nascita. Il trattamento chirurgico necessario per risolverli è spesso complesso, a causa della grande variabilità anatomica e delle piccole dimensioni delle strutture interessate. Per questo è necessaria una formazione chirurgica specifica, che può avvenire anche ricorrendo a simulatori fisici. L'obiettivo di questo lavoro è quello di proporre e testare un nuovo simulatore per procedure di riparazione di difetti cardiaci congeniti.

Metodi – Si è partiti da un modello 3D di cuore pediatrico con un difetto al setto ventricolare (VSD). Per la fabbricazione del prototipo, sono stati eseguiti preliminarmente test qualitativi di taglio e sutura con 8 chirurghi e test quantitativi di trazione uniassiale secondo standard ISO su campioni di diverso materiale, andando a comparare due tipologie di silicone a diversa durezza (Shore A 20 e 33, rispettivamente) con una resina stampata in 3D (blend tra VeroClear e Agilus30 Clear, Shore A 40). Parallelamente, è stato progettato un ambiente di simulazione basato sulle dimensioni e proporzioni del torace di un neonato, con la creazione di una piattaforma modulare.

Risultati – Il silicone 20 ha mostrato un comportamento migliore rispetto al silicone 33 ed alla resina stampata in 3D, sia dal punto qualitativo che quantitativo, ed è stato scelto per la fabbricazione. Il cuore in silicone è stato prodotto con successo tramite stampaggio a iniezione in un'unica parte, con una tecnica finora mai utilizzata in questo ambito. Il processo ha previsto per la colata l'utilizzo di un materiale solubile interno e di un guscio suddiviso in più parti per l'esterno. La piattaforma con gabbia toracica è stata stampata in filamento con ABS, mentre elementi di giunzione modulari sono stati introdotti per fissare in maniera stabile il cuore alla piattaforma.

Discussione – Il simulatore è stato valutato positivamente da un chirurgo, che ha testato la procedura di riparazione del difetto, affermando che questa soluzione, al netto di possibili miglioramenti che potranno essere implementati, ha le caratteristiche per supportare in modo adeguato la formazione di cardiocirurghi pediatrici nel complesso settore applicativo considerato.



Fig. 1. Prototipo del simulatore modulare per la riparazione di difetti cardiaci congeniti.



Modelli stampati 3D per il planning chirurgico nella rigidità post-traumatica di gomito

Federico Martinelli¹, Clelia Rota¹, Luigi Adriano Pederzini¹ e Andrea Celli¹

¹ Hesperia Hospital, Modena, Italia

Introduzione – La rigidità post-traumatica di gomito è una sfida che richiede esperienza del chirurgo e un’attenta pianificazione chirurgica per la corretta scelta del trattamento. La rigidità può risultare da una lesione traumatica coinvolgente i tessuti molli periarticolari o la superficie dell’articolazione stessa. Nonostante la grande accuratezza della TC con ricostruzione tridimensionale, essa si scontra con il limite della percezione umana basata su di un solo senso: la vista.

Metodi – Sei casi clinici di complessità crescente riguardanti rigidità post-traumatica del gomito sono stati sottoposti a quattro esperti di chirurgia del gomito che hanno avuto la possibilità di valutare video e descrizioni dell’esame obiettivo, radiografie e TC con ricostruzione 3D per ogni caso. Dopo una prima valutazione tramite questionario con proposta di trattamento finale, è stata data ad ogni esperto la possibilità di esaminare dei modellini dei gomiti stampati 3D basati sulla TC di ogni paziente (Figura 1) e poi effettuare una seconda proposta di trattamento.

Risultati – Nei quattro casi più complessi tutti i chirurghi esaminatori hanno trovato utile la valutazione dei modellini stampati 3D rispetto alla sola TC con ricostruzione tridimensionale e in alcuni casi è stata cambiata la tipologia di intervento proposto inizialmente.

Discussione – La tecnologia della stampa 3D si è dimostrata un valido strumento nel planning chirurgico riguardante casi complessi di rigidità post-traumatica di gomito, specialmente in presenza di deformità articolari.

Questo studio si è focalizzato principalmente sul cambio di strategia chirurgica dopo l’analisi dei modellini tridimensionali anziché sul tipo di chirurgia scelta, sottolineando più il potere di uso nel planning rispetto al beneficio clinico derivante. Seppur limitato nel campione scelto, crediamo che questo articolo possa essere di stimolo a ulteriori ricerche sull’utilità dei modellini stampati 3D portando ad un loro uso sistematico.



Fig. 1. Modellino tridimensionale del caso clinico più complesso sottoposto agli esperti di chirurgia del gomito



Modello Muscoloscheletrico di Mandibola per Pianificazione Preoperatoria

Giulia Pascoletti¹, Giovanni Putame², Talal Bin Irshad¹, Francesco Bianconi¹ e Elisabetta M. Zanetti¹

¹ Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italia

² Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale, Politecnico di Torino, Torino, Italia

Introduzione – Nel contesto delle resezioni ossee massive della mandibola, possono essere realizzate protesi su misura, stampate in 3D, la cui progettazione si basa solitamente sulla replica speculare del lato anatomico sano e su considerazioni di tipo geometrico (assenza di interferenza) per una o più pose statiche. Il processo di progettazione può essere coadiuvato da analisi biomeccaniche volte a verificare l'ampiezza dei movimenti articolari consentiti, il rischio di lussazione ed eventuali sovraccarichi funzionali. A tale fine, in questo lavoro si è messo a punto un modello multibody (MB) muscoloscheletrico di mandibola.

Metodi – Il modello MB è composto da corpi rigidi (mandibola e cranio) ed elementi elastici atti a replicare le azioni di muscoli e legamenti (Fig. 1a); l'articolazione temporo-mandibolare (ATM) è stata modellata attraverso il contatto tra condilo e fossa glenoidea. Utilizzando un approccio di dinamica inversa, si sono simulati i movimenti di apertura e chiusura della mandibola, registrando i conseguenti spostamenti dell'ATM, i quali sono stati confrontati con dati sperimentali riportati in letteratura [1] ai fini della validazione del modello (Fig. 1b). La stessa analisi è poi stata replicata considerando una mandibola protesizzata (Fig. 1c).

Risultati – Il confronto tra gli spostamenti condilari ottenuti dal modello e quelli misurati sperimentalmente ha permesso di validare l'approccio numerico adottato. In caso di protesizzazione monolaterale, lo sbilanciamento delle azioni muscolari tra lati anatomici opposti può comportare un sovraccarico funzionale del condilo controlaterale sano, oltre a una rotazione nel piano frontale, da cui un movimento di apertura asimmetrico.

Discussione – Dal confronto con i dati sperimentali, il modello sviluppato è risultato in grado di replicare in maniera accurata i movimenti di apertura e chiusura della mandibola. La presenza dell'impianto ha evidenziato l'ipomobilità del condilo protesizzato, il sovraccarico del condilo sano e l'insorgenza di un movimento asimmetrico. In generale, il modello può costituire un utile strumento di supporto durante la pianificazione preoperatoria, consentendo di stimare la cinematica articolare e le forze articolari e muscolari per diverse configurazioni.

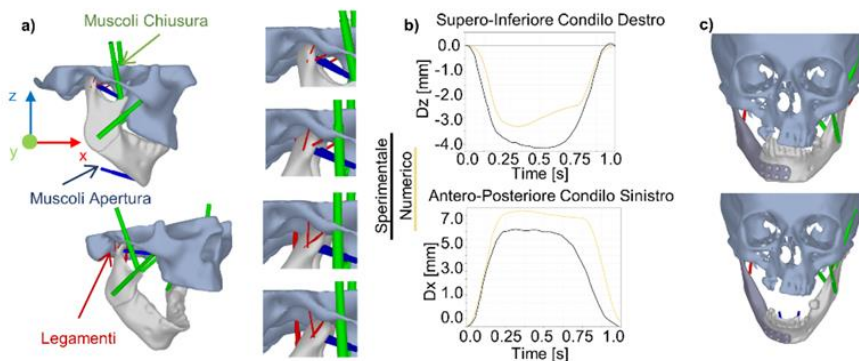


Fig. 1. a) Modello MB; b) confronto numerico-sperimentale; c) modello MB con protesi.



3D-Printed Liquid Crystalline Elastomer as Artificial Muscles for Biomedical Application

Giovanni Simonetti¹, Ruggero Rossi², Daniele Martella^{1,2}, Caterina Credi^{2,3}, Federico Carpi⁴ and Camilla Parmeggiani^{1,2}

¹University of Florence, Department of Chemistry, Sesto Fiorentino 50019, FI, Italy

²European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy (LENS), Sesto Fiorentino 50019, FI, Italy

³National Institute of Optics National Research Council (INO-CNR), Sesto Fiorentino 50019, FI, Italy

⁴Department of Industrial Engineering, University of Florence, Firenze 50139, FI, Italy

Introduction – Liquid Crystalline Elastomers (LCEs) stand out as among the materials studied for the development of artificial muscles, given their capability of responding to external stimuli such as light irradiation or temperature changes. However, their application in biological settings, particularly within the human body, presents challenges.

Materials and Methods – Here, we employ 3D printing to create LCE structures serving as artificial muscles, responsive to thermal activation or visible light. Additionally, we demonstrate their activation potential using LED arrays, enabling the possibility to develop of light-responsive biological interfaces for muscular support. Through precise control of alignment and geometries, diverse actuators are attainable, allowing tuneable complex deformations. Our study details the fabrication and characterization of LCE-based artificial muscles using cost-effective 3D printing, specifically employing Direct Ink Writing (DIW), a technique which can align the liquid crystals along the printing direction during the ink extrusion.

Results –LCEs show an elastomeric behavior with a Young Modulus in the range of MPa. The developed tension from photo and thermal-actuation test varies from 1 kPa to 400 kPa according to light intensity and irradiation time.

Discussion – Highly viscous oligomers based on diacrylate mesogens and dithiols, synthesized via a thiol-ene reaction, are used in DIW, with the inks containing an azobenzene dye for light actuation. Mechanical characterization and responsiveness to light and temperature are investigated post-printing, with structures adaptable for large-scale, custom-sized patches.

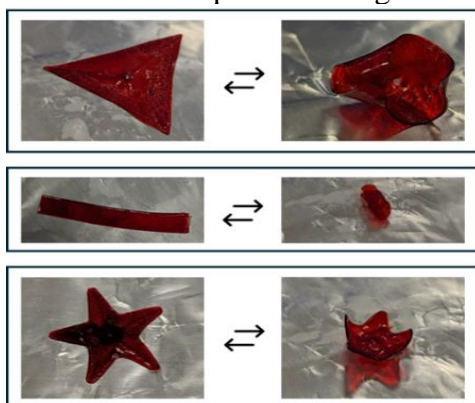


Fig. 1. Thermal actuation of LCE structures with different alignment pattern.

Acknowledgment: The research leading to these results has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 952166 (REPAIR).

Riferimenti

1. S. Cai et al., Science Advances, 6, S29, 2020.



Training nell'ossiculoplastica autologa: il ruolo della stampa 3D

Nicolas Emiliani¹, Cecilia Lotto^{2,3}, Arianna Burato^{2,3}, Rossana d'Azzeo^{2,3}, Laura Cercenelli¹,
Gabriele Molteni^{2,3}, Emanuela Marcelli¹ e Giulia Molinari^{2,3}

¹ eDIMES Lab, Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna, Italia

² Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna, Italia

³ Unità di Otorinolaringoiatria e Chirurgia Testa-Collo, IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Bologna, Italia

Introduzione – L'ossiculoplastica è un intervento chirurgico che mira a ricostruire la continuità della catena ossiculare per migliorare l'udito del paziente. La learning curve risulta molto lunga per lo sviluppo di manualità specifica [1-2]. In questo studio viene indagato il ruolo che la stampa 3D può avere nel training di questa particolare procedura chirurgica.

Metodi – Le incudini su cui è stato effettuato il task sono state stampate in 3D mediante tecnologia a stereolitografia (SLA), ricostruite da TC a strato sottile. I partecipanti sono stati divisi omogeneamente in due gruppi: il gruppo A ha realizzato il task su incudine in scala 1:1, mentre il gruppo B ha effettuato l'ossiculoplastica prima su un modello di incudine magnificata 3x e successivamente su incudine in scala 1:1. Le incudini rimodellate sono state sottoposte a TC post-dissezione e confrontate con una incudine di riferimento (“controllo”) rimodellata da un chirurgo esperto (Fig.1).

Risultati – Il training sulla procedura risulta fattibile su incudini stampate in 3D. Svolgere la procedura su modello di incudine 3x favorisce l'apprendimento e migliora la performance su incudine di dimensioni reali: 10 incudini accettabili per il gruppo A e 20 per il gruppo B.

Discussione – Lo studio può essere considerato uno dei primi a quantificare la skill acquisita nell'esecuzione di una complessa tecnica chirurgica quale l'ossiculoplastica. I risultati ottenuti dimostrano che la stampa 3D è efficace nel realizzare modelli anatomici precisi della catena ossiculare e nel velocizzare la learning curve degli specializzandi [3].

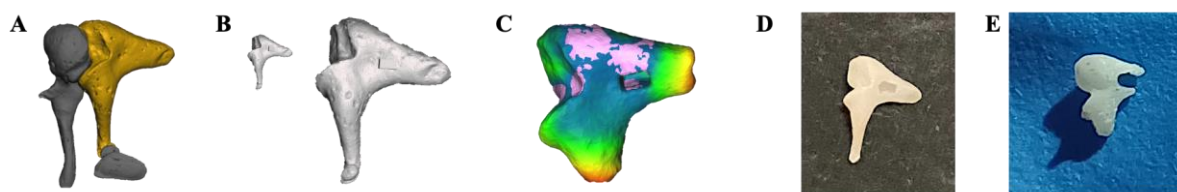


Fig. 1. A: Risultato segmentazione immagine TC; B: Modelli virtuali incudine 1x e 3x; C: Esempio di allineamento tra incudine post-dissezione eseguita da un partecipante e “controllo”; D: Incudine 1x pre-dissezione; E: Incudine 1x post-dissezione.

Riferimenti

1. Fink, R.: Techniques of Endoscopic Ossiculoplasty. JoVE (Journal of Visualized Experiments), (203), (2024).
2. Cho, Y. S.: Outcomes and learning curve of endoscopic tympanoplasty: A retrospective analysis of 376 patients. Laryngoscope Investigative Otolaryngology, 7(6), 2064-2068, (2022).
3. Brumpt, E.: Are 3D-printed anatomical models of the ear effective for teaching anatomy? A comparative pilot study versus cadaveric models. Surgical and Radiologic Anatomy, 46(2), 103-115, (2024).



Sviluppo e validazione preliminare di un simulatore paziente-specifico per il training delle procedure eco-guidate nel distretto testa-collo

Nicolas Emiliani¹, Sofia Maria Bakken^{2,3}, Barbara Bortolani¹, Laura Cercenelli¹, Carla Serra³
ed Emanuela Marcelli¹

¹ eDIMES Lab, Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna, Italia

² Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna, Italia

³ Unità di Ecografia Interventistica, Diagnostica e Terapeutica, IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Bologna, Italia

Introduzione – L’agobiopsia nel distretto testa-collo è una procedura rischiosa a causa della vicinanza delle principali ghiandole a strutture anatomiche vitali [1]. In questo studio è stato realizzato e validato preliminarmente un simulatore paziente-specifico per l’addestramento alle procedure di agobiopsia delle principali ghiandole del collo.

Metodi – Le principali strutture anatomiche del collo sono state ricostruite da TC di soggetto volontario sano. Queste sono state realizzate sia mediante stampa 3D diretta (SLA) che attraverso negativi in cui è stato colato un materiale eco-compatibile (Fig. 1). 10 medici divisi in due gruppi (specializzandi ed esperti) hanno eseguito al simulatore la biopsia eco-guidata e ripetuto il test dopo 30 giorni. Sono stati misurati i tempi di esecuzione, la corretta esecuzione della procedura ed eventuali danni a strutture anatomiche limitrofe.

Risultati – Gli esperti hanno ottenuto risultati migliori per quanto riguarda i tempi e gli errori nelle procedure in entrambi i test. Il gruppo degli specializzandi, invece, dopo 30 giorni, ha mostrato una diminuzione del 30% nei tempi di esecuzione dei task, in particolare per l’individuazione delle lesioni target, e del 72% nel numero di errori commessi nella biopsia.

Discussione – Il simulatore realizzato ha dimostrato di essere un valido tool per il training nelle procedure eco-guidate ed è uno dei primi ad includere anche le ghiandole salivari [2].



Fig. 1. A: modello virtuale del phantom; B: in alto gli stampi delle ghiandole ed in basso il risultato dopo la solidificazione del materiale colato al loro interno. In rosso le lesioni inserite in ciascuna ghiandola; C: stampo per la realizzazione del collo; D: phantom finale; E: esecuzione del test di biopsia eco-guidata sul simulatore.

Riferimenti

1. Mohamed, M.: Role of FNAC in evaluation of neck masses. *Journal of Current Surgery*, 3(1), 19-23, (2013).
2. Baba, M.: Development and evaluation of an original phantom model of ultrasonography-guided thyroid gland biopsy for the training of surgical residents and students. *Surgery Today*, 53(4), 443-450, (2023).



Bioinks di polimeri naturali per modelli in vitro di leucemia linfatica cronica (CLL)

Matteo Pitton¹, Marco Cellani², Cristina Scielzo² Silvia Farè^{1,3}

¹ Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica, Politecnico di Milano, Milano, Italia

² Malignant B Cells Biology and 3D Modelling Unit, IRCCS Ospedale San Raffaele, Milano, Italia

³ INSTM-Unità Locale Politecnico di Milano

Introduzione – La leucemia linfatica cronica (CLL) è la leucemia più comune nel mondo occidentale e rimane una malattia incurabile. Negli ultimi anni sono stati sviluppati modelli 3D in vitro per la CLL per comprendere meglio i meccanismi di interazione delle cellule della CLL con il microambiente circostante e per studiare nuovi trattamenti terapeutici [1,2]. In questo lavoro, è stata studiata l'influenza delle caratteristiche meccaniche del microambiente sulla vitalità delle cellule CLL dopo avere ottimizzato bioinks composti da polimeri naturali.

Metodi – Gli idrogeli sono stati prodotti impiegando GelMA, alginato (Alg) reticolato e metilcellulosa metacrilata (MCMA), con concentrazioni pari a 10, 2, 2% p/V, rispettivamente. I blend sono stati reticolati mediante esposizione alla luce visibile con riboflavina e persolfato di sodio. Sono state valutate la stabilità in vitro, le proprietà meccaniche e reologiche. Le cellule di linea MEC1 sono state inglobate nelle formulazioni valutando il metabolismo.

Risultati – Dopo un processo di ottimizzazione, sono state selezionate tre formulazioni per mimare il range di rigidità del microambiente di CLL (0.5-10 kPa). Due di esse differiscono per la concentrazione di SPS (blend_lowSPS, blend_highSPS), la terza è stata preparata utilizzando alginato a bassa viscosità (blend_highSPS_lowAlg). Blend_lowSPS ha mostrato la più alta perdita di peso e blend_highSPS_lowAlg ha mostrato la minore stabilità (Fig.1a). Blend_lowSPS ha mostrato la rigidità minore basso (1.25 kPa), blend_highSPS ha mostrato proprietà meccaniche intermedie (5.45 kPa), mentre blend_lowSPS_lowAlg ha mostrato una rigidità maggiore (9.00 kPa). Blend_lowSPS_lowAlg ha determinato una diminuzione del metabolismo cellulare, mentre blend_lowSPS e blend_highSPS permettono una migliore vitalità cellulare a causa della minore rigidità (Fig.1b).

Discussione – Le tre formulazioni di bioinks ottimizzate hanno permesso di ottenere una rigidità adatta al range di rigidità del microambiente della CLL. I test reologici e le prove biologiche *in vitro* delle formulazioni caricate con cellule hanno dimostrato il loro possibile utilizzo come bioinks per modelli di CLL.

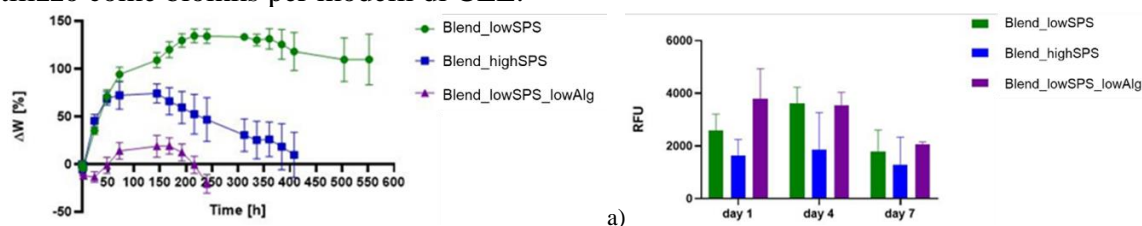


Fig. 1. a) Stabilità in vitro per le formulazioni ottimizzate; b) Metabolismo cellulare (RFU) dopo 1, 4, 7 giorni di coltura.

Riferimenti

1. Scielzo, C., Ghia, P.: Modeling the Leukemia Microenvironment in vitro. *Front Oncol* 10,607608 (2020).
2. Ribezzi, D., Pinos, R., Bonetti, L., Cellani, M., Barbaglio, F., Scielzo, C., Farè, S.: Design of a novel bioink suitable for the 3D printing of lymphoid cells. *Front. Biomater. Sci.* 2:1081065 (2023).



Design di un dispositivo realizzato in NiTi mediante processo LPBF per il trattamento di craniosinostosi unicoronale

Chiara Bregoli¹, Carlo Alberto Biffi¹, Jacopo Fiocchi¹, Alessandro Borghi², Ausonio Tuisi¹

¹ Consiglio Nazionale delle ricerche, ICMATE, Lecco, Italia

² Dipartimento di Ingegneria, Università di Durham, UK

Introduzione – La craniosinostosi unicoronale (CU) si manifesta nel neonato con la prematura ossificazione delle suture coronali e comporta uno sviluppo asimmetrico del cranio. Il trattamento consiste nell’impianto, e successiva rimozione, di molle di acciaio di dimensioni standard atte a ripristinare la simmetria del cranio [1]: ciò nonostante, questi device non presentano un design ottimizzato e il materiale utilizzato non consente lo sviluppo di una forza costante durante il trattamento. Gli obiettivi del lavoro: i) realizzare un prototipo in NiTi per sfruttarne la superelasticità e migliorare la forza sviluppata dal dispositivo durante il trattamento [2]; ii) realizzare il dispositivo mediante tecnologia Laser Powder Bed Fusion (LPBF).

Metodi – Il prototipo è costituito da 3 coppie di un’unità base (Fig. 1). La risposta meccanica dell’unità base è stata investigata mediante analisi computazionale: la posizione delle osteotomie sul cranio e la rigidità dell’unità base sono state ottimizzate per minimizzare il valore di CVAI (indice di asimmetria del cranio): il design dell’unità base è risultato delle precedenti analisi. Parallelamente, i provini fabbricati in NiTi mediante tecnologia LPBF con parametri di processo ottimizzati, sono stati testati meccanicamente al fine di estrapolarne le proprietà meccaniche utili come input al modello computazionale del materiale. Infine, l’unità base realizzata in NiTi in LPBF è stata testata sperimentalmente replicando le condizioni di carico simulate al fine di verificare e validare i risultati computazionali.

Risultati – Mediante un DoE è stato possibile ottimizzare sia il design dell’unità di base sia le forze di distrazione necessarie a minimizzare il valore di CVAI. Le prove di trazione sui provini in NiTi hanno confermato il comportamento superelastico del materiale realizzato mediante stampa 3D. Le prove sperimentali sul device hanno validato il modello computazionale (Fig 1): il dispositivo in NiTi presenta un plateau di scarico in grado di migliorare l’adattamento del cranio durante il trattamento.

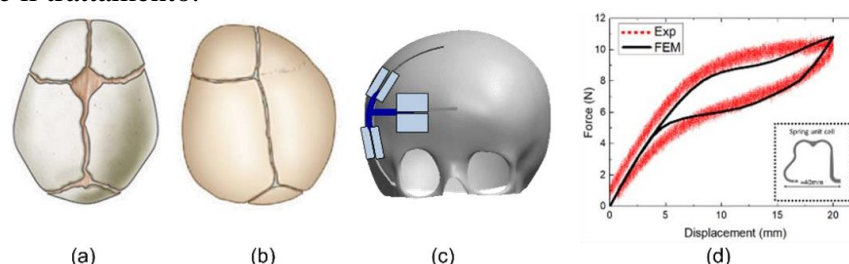


Fig. 1. Cranio con simmetria fisiologica (a); cranio affetto da CU (b); posizionamento delle osteotomie e design del nuovo device (c); confronto dei risultati sperimentali e computazionali per l’unità base(d).

Discussione – È stato verificato lo sviluppo di un prototipo per il trattamento della CU. Sono in corso ulteriori studi per finalizzare l’intero dispositivo costituito da 3 coppie di unità base per procedere in seguito con il test in-vitro utilizzando una replica del cranio stampato in 3D.

Riferimenti

1. Borghi et al.: Assessment of spring cranioplasty biomechanics in sagittal craniosynostosis patients. *J. of Neurosurgery Pediatrics*, 5(20), 400–409 (2017).
2. Biffi et al.: Selective laser melting of NiTi shape memory alloy: processability, microstructure, and superelasticity. *Shape memory and superelasticity* 6, 342–353 (2020).



Ortesi stampate in 3d, lo stato dell'arte presso l'Azienda ospedaliera universitaria Meyer- IRCCS

Federico Fontanelli¹, Emiliano Talanti¹, Alessandro Zanardi¹, Raffaele Barbato¹, Miriam Lambusta¹

Michaela Servi², Antonio Marzola²

¹ Azienda Ospedaliera Universitaria IRCSS MEYER, Firenze, Italia

² Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Firenze, Italia

Introduzione – Con l'introduzione delle tecnologie di Reverse Engineering e Rapid Prototyping, il campo medico si presta ad essere rivoluzionato e molti sono gli ambiti coinvolti: simulazioni, planning preoperatori, dispositivi medici patient-matched e custom-made. Uno di questi settori in forte cambiamento è quello della fabbricazione di ortesi in quanto la stampa 3D offre molteplici vantaggi: minore peso, maggiore radiotrasparenza, migliore ventilazione, migliore comfort e accettazione da parte del paziente. In questo ambito la partnership tra Ortopedia pediatrica dell'Ospedale Meyer e Laboratorio T3ddy ha portato un notevole beneficio per i piccoli pazienti. Lo scopo di questo articolo è descrivere lo stato dell'arte delle sperimentazioni che hanno coinvolto l'equipe clinica e di ingegneri dell'Ospedale Pediatrico.

Metodi – Dall'anno 2022, è in fase di conduzione un trial randomizzato controllato con identificativo T3ddy02, riguardante la popolazione pediatrica tra 7-13 anni con frattura legno verde di polso, questo valuta la comparazione fra il trattamento conservativo tradizionale e ortesi stampate in 3D: Dopo l'applicazione del tutore, i pazienti sono stati valutati in tre momenti diversi nei 21 giorni successivi, valutando outcome come: dolore, lesioni cutanee, comfort, integrità dell'ortesi, accettazione del tutore, ripresa funzionale e guarigione.

Risultati – I risultati sono stati positivi per quanto riguarda il comfort generale, l'efficacia del contenimento e l'integrità meccanica del tutore 3D. Anche l'intero processo di produzione è stato valutato positivamente.

Discussione – Dalla indagine pre-market [1] si è ottenuto un livello evidenza IV che i tutori 3D custom per il paziente, ottenuti tramite software appositamente progettato, sono sicuri per la gestione delle fratture del radio distale nei bambini. Questi risultati incoraggiano l'estensione di questa tecnologia anche per trattare fratture più complesse ed è infatti il rationale adottato per la conduzione dello studio RCT in corso "T3ddy02".



Fig. 1. Le varie fasi del processo di produzione dell'ortesi, dall'acquisizione alla prototipazione

Riferimenti

1. Lazzeri S, Talanti E, Basciano S, Barbato R, Fontanelli F, Uccheddu F, Servi M, Volpe Y, Vagnoli L, Amore E, Marzola A, McGreevy KS, Carfagni M. 3D-Printed Patient-Specific Casts for the Distal Radius in Children: Outcome and Pre-Market Survey. *Materials* (Basel). 2022 Apr 13;15(8):2863. doi: 10.3390/ma15082863.



Sviluppo di un bioink a base di gelatina per il 3D bioprinting di un modello semplificato di cute

Aida Cavallo¹, Giorgia Radaelli¹, Tamer Al Kayal¹, Giorgio Soldani¹, Paola Losi¹

¹ Istituto di Fisiologia Clinica, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Massa, Italia

Introduzione – Il 3D bioprinting permette la fabbricazione di strutture in grado di imitare l'architettura dei tessuti utilizzando biomateriali, molecole bioattive e cellule [1]. Lo scopo del presente studio è stato lo sviluppo di un bioink a base di gelatina ed alginato per il 3D bioprinting di un modello semplificato di cute.

Metodi – Le proprietà chimico-fisiche del bioink (omogeneità, stampabilità, morfologia, degradazione e swelling [2]) sono state valutate al variare della concentrazione di gelatina (10, 15 e 20 mg/mL) e calcio cloruro (CaCl₂, 100, 150 o 200 mM) nella soluzione di reticolazione post-stampa. La formulazione migliore è stata addizionata con fibroblasti (3x10⁶cell/mL) e cheratinociti (4x10⁶cell/mL) umani primari per il 3D bioprinting (CELLINK, BIOX) del modello semplificato di cute. I costrutti sono stati caratterizzati tramite test di vitalità e proliferazione cellulare (Live/dead, Resazurina) ed analisi istologica (Tricromica di Masson).

Risultati – Le formulazioni contenenti 10 e 15 mg/mL di gelatina sono risultate omogenee. Aumentando la concentrazione di gelatina presente nel bioink, aumenta l'angolo di flessione del filamento, lo spreading ratio si avvicina a 1, migliora la shape fidelity e la risoluzione di stampa. La morfologia dei pori così come la degradazione e lo swelling dipendono sia dal contenuto di gelatina sia dalla concentrazione di CaCl₂. I costrutti stampati con il bioink contenente 15 mg/mL di gelatina e reticolati con CaCl₂ 150 mM si degradano più lentamente e hanno le migliori proprietà di stampa per cui tale formulazione è stata selezionata per il 3D bioprinting del modello di cute costituito da uno strato di fibroblasti ed uno di cheratinociti. I costrutti hanno mostrato una distribuzione omogenea di cellule vitali e proliferanti all'interno della struttura ai time-point 1, 7 e 14 giorni di coltura in vitro (Fig. 1).

Discussione – Il bioink a base di gelatina e alginato ha permesso il 3D bioprinting di un modello semplificato di cute con potenziali applicazioni nella valutazione della bioattività di molecole e farmaci pro-riparativi.

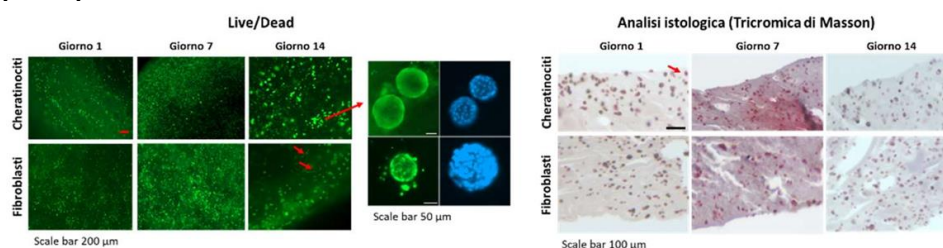


Fig. 1. Caratterizzazione del costrutto ottenuto tramite 3D bioprinting.

Riferimenti

1. Weng, T., et al. 3D bioprinting for skin tissue engineering: Current status and perspectives. *J Tissue Eng.* 12 (2021).
2. Cavallo, A., et al. Marine Collagen-Based Bioink for 3D Bioprinting of a Bilayered Skin Model. *Pharmaceutics* 15(5), 1331 (2023).

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dr. Vassili Fotis per la donazione che ha permesso l'acquisto della 3D bioprinter e del microscopio elettronico a scansione utilizzati in questo studio.



Caratterizzazione meccanica di materiali per stampa 3D per applicazioni in-vitro di fluidodinamica cardiovascolare

Benigno Marco Fanni¹, Federica Giovannini^{2,3}, Emanuele Gasparotti¹, Emanuele Vignali¹,

Giovanni Vozzi², Giovan Battista Semplici³, Simona Celi¹

¹ BioCardioLab, Unità di Bioingegneria, Fondazione Monasterio, Massa, Italia

² Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Pisa, Pisa, Italia

³ Bio3DModel, SolidWorld Group, Sambuca, Italy

Introduzione – Negli ultimi anni, la stampa 3D nell'ambito cardiovascolare ha spinto molto verso la modellazione delle proprietà meccaniche delle pareti vascolari [1]. In questo studio, la nuova serie di materiali per modelli vascolari stampati attraverso la stampante J750 Digital Anatomy (Stratasys, Inc., United States), è stata analizzata per valutarne le proprietà meccaniche e il loro utilizzo in applicazioni cardiovascolari.

Metodi – La serie Vessel Wall (VW) è costituita da 6 miscele ottenute aggiungendo al materiale Agilus (simil-gomma, Shore 30A) delle percentuali crescenti di Vero (rigido, Shore 80D). Tutte le varianti, dalla più deformabile (VW1, Agilus puro) alla più rigida (VW6, Agilus+Vero) sono state caratterizzate mediante dei test di trazione uniassiale e biassiale. I test uniassiali sono stati condotti secondo lo standard ASTM D412 su un totale di 78 campioni stampati sia sul piatto di stampa (3 diverse orientazioni) che su cilindro, per valutare l'eventuale anisotropia dei materiali. I test biassiali sono stati eseguiti su 18 campioni quadrati (35×35 mm²) con 5 diversi rapporti di forza lungo le due direzioni (zz e $\theta\theta$) di trazione (1:1, 0.5:1, 0.75:1, 1:0.5, 1:0.7).

Risultati – I risultati delle prove uniassiali in termini di modulo elastico (E) sono riassunti in Fig. 1a. Per le prove biassiali, in Fig. 2b sono riportate le curve stress-stretch per il materiale VW1, al variare del rapporto di forza. Un modello paziente-specifico di aorta (VW1) è stato inserito in un banco prova per la valutazione della risposta della parete alla fluidodinamica cardiovascolare (Fig. 1c).

Discussione – I materiali VW possono essere utilizzati in applicazioni cardiovascolari che richiedono la modellazione meccanica della parete comparabile a quella del tessuto in-vivo.

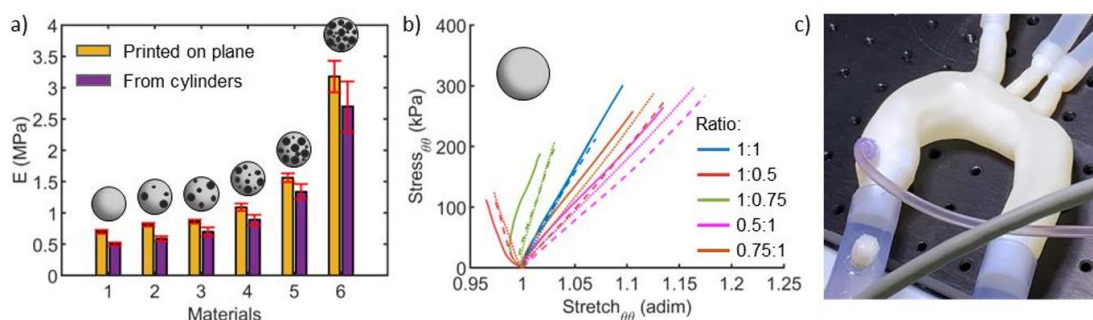


Fig. 1. Esempi di risultati dei test di trazione uniassiale (a), biassiale (b) e modello paziente-specifico stampato in 3D in materiale VW1 per la modellazione in-vitro della fluidodinamica aortica (c).

Riferimenti

1. Fanni, B.M., et al: Proof of Concept of a Non-Invasive Image-Based Material Characterization Method for Enhanced Patient-Specific Computational Modeling. CVET 11(5), 532–43 (2020).

Ringraziamenti

Questo studio è parte del progetto IMeC, finanziato dal Ministero della Salute (SG-2019-12370350).



Epitesi Nasale Siliconica con Supporto di Occhiali:

Case Report di Riabilitazione Protesica Post-Rinectomia

Fabrizio Ferretti¹, Nicolas Emiliani¹, Laura Cercenelli¹, Emanuela Marcelli¹, Leonardo Ciocca²

¹ eDIMES Lab – Dip. Scienze Mediche e Chirurgiche, Università di Bologna, Bologna, Italia

² Reparto Protesi, Dip. Scienze Biomediche e Neuromotorie, Università di Bologna, Bologna, Italia

Introduzione – La riabilitazione estetica dei pazienti sottoposti a rinectomia rappresenta una sfida determinante per la qualità di vita dei pazienti. Un approccio protesico si pone spesso come soluzione efficace [1,2]. Questo case-report illustra un workflow innovativo per la realizzazione di una epitesi nasale in silicone con supporto di occhiali.

Metodi – La morfologia originaria del naso del paziente è stata ricostruita tramite software di segmentazione di immagini di TC pre-operatoria (Mimics, Materialise). La modellazione dell'epitesi è stata realizzata, a partire da scansioni di stereofotogrammetria, mediante software MeshMixer (Autodesk) (Fig.1). L'epitesi finale, realizzata in silicone con texture personalizzata, contiene al suo interno una sottostruttura metallica realizzata mediante LMF (Laser Metal Fusion), allo scopo di stabilire una connessione rigida con gli occhiali. Sono stati realizzati mediante stampa 3D: un modello del difetto, una guida di foratura per gli occhiali, uno stampo per silicone e una guida di allineamento componenti, con tecnologia SLA (Form3B+, Form3BL); un modello di epitesi in materiale flessibile mediante tecnologia Polyjet (J720 Stratasys);

Risultati – L'adozione del workflow digitalizzato proposto ha permesso di realizzare in tempi relativamente rapidi e a costi contenuti un'epitesi nasale che ha restituito al paziente un risultato estetico accettabile ed un buon livello di qualità della vita.

Discussione – L'impiego combinato di tecnologie di scansione, modellazione e stampa 3D consente di impostare un protocollo digitale per la realizzazione di protesi facciali altamente personalizzate. La fissazione rigida ad un paio di occhiali è essenziale per il sostegno dell'epitesi, ma vincola il paziente ad una soluzione rimovibile e non definitiva. Tuttavia, l'esperienza presentata conferma l'approccio protesico come valida opzione di riabilitazione.

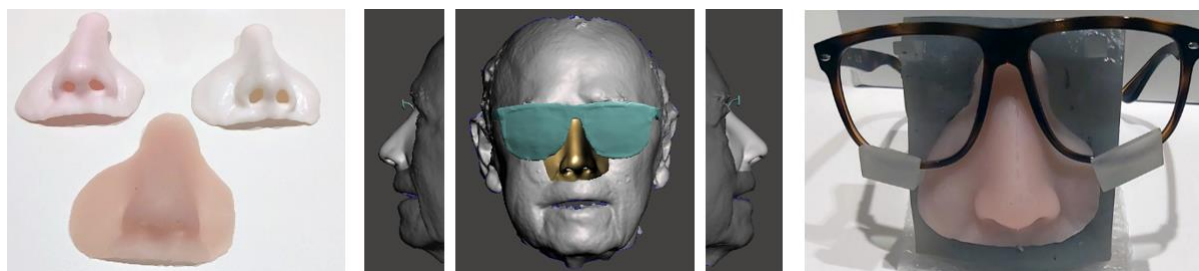


Fig. 1. A sinistra: prototipi di epitesi in materiale flessibile (Agilus, Stratasys) e Silicone. Al centro: modellazione virtuale. A destra: modello guida per la sintesi delle componenti dell'epitesi.

Riferimenti

1. Seelaus R et al.: State of the Art Care in Computer-Assisted Facial Prosthetic Rehabilitation. *J. Craniofac. Surg.*, 32, 1255–1263 (2021).
2. Ciocca L et al.: An Update of Eyeglasses-Supported Nasal–Facial Prosthetic Rehabilitation of Cancer Patients with Post-Surgical Complications: A Case Report. *Applied Science*, 13, fasc. 8 (2023).



Metodologia *in silico* per la predizione delle proprietà elastiche di scaffold in PLA stampati 3D

Matteo Sestini¹, Beata Matungano¹, Mario Milazzo¹, Serena Danti¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa, Largo L. Lazzarino 2, 56122 Pisa

Introduzione – Le tecnologie di manifattura additiva consentono la fabbricazione di dispositivi protesici personalizzabili, non solo in termini di forma, ma anche di architettura interna, per far fronte alla crescente domanda di sostituti ossei [1]. In particolare, la geometria dei dispositivi influenza le loro proprietà meccaniche che possono essere regolate in base alle esigenze [2].

Metodi – La modellazione a deposizione fusa (FDM) è impiegata per stampare dei provini in acido polilattico (PLA) per prove tensili, con varie architetture interne differenziate per direzionalità del pattern di deposizione (90°/90° e 45°/45°) e densità di riempimento (40%, 60%, 80% e 100%) (Fig.1a). La caratterizzazione meccanica è condotta attraverso prove tensili secondo gli standard ASTM D 1708-93. Sulla base dell'acquisizione delle geometrie stampate tramite microscopia ottica, sono realizzati i modelli CAD 3D. I test tensili sono quindi riprodotti *in silico* attraverso modelli agli elementi finiti (FEM).

Risultati – Le dimensioni L_{xy} e L_z dei filamenti estrusi sono in media di 380 μm e di 300 μm (Fig.1b). I moduli elastici dei provini stampati 3D variano in base alla tipologia di struttura dai 40 MPa ai 540 MPa. I moduli elastici ricavati dai FEM hanno un andamento simile a quelli misurati sperimentalmente con buona approssimazione come è possibile osservare dalla Fig.1c.

Discussione – La metodologia descritta, che ha combinato caratterizzazione sperimentale, acquisizione delle geometrie e FEM si è rivelata uno strumento valido per la predizione delle proprietà meccaniche delle strutture in esame. Un approccio utile per sviluppare strutture complesse che possano emulare le proprietà meccaniche dei tessuti biologici, fondamentali per il successo degli impianti biomedici e la promozione della rigenerazione tissutale.

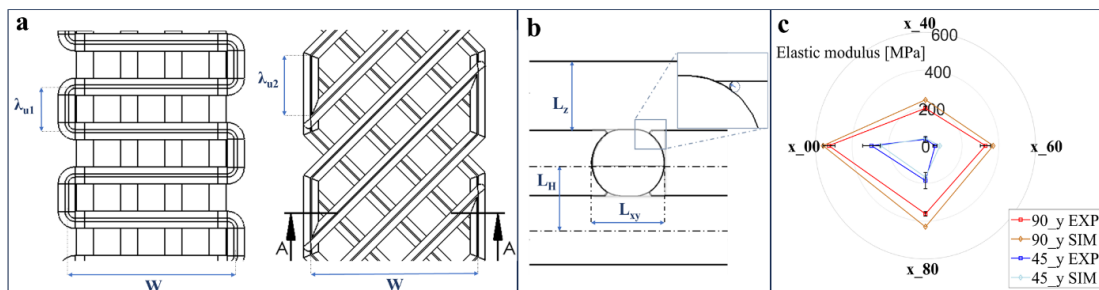


Fig. 1. (a) Pattern di deposizione (90°/90° e 45°/45°). (b) Schema di giunzione tra filamenti sovrapposti. (c) Comparazione tra valori di modulo elastico sperimentali (EXP) e dei modelli simulati (SIM). Campioni classificati con nomenclatura x_y dove “x” e “y” indicano rispettivamente pattern di deposizione e densità di riempimento.

Riferimenti

1. Jariwala, S.H.: 3D Printing of Personalized Artificial Bone Scaffolds. 3D Print. Addit. Manuf. 2(2), 56–64 (2015).
2. Bahraminasab M.: Challenges on optimization of 3D-printed bone scaffolds. BioMed Eng OnLine 19, 69 (2020).

Ringraziamenti

PNRR - MISSIONE 4 COMPONENTE 2 INVESTIMENTO 1.4 CENTRO NAZIONALE “National Centre for HPC, Big Data and Quantum Computing (CN1)”, (Codice Progetto CN00000013, CUP I53C22000690001) finanziato dal Ministero Italiano dell'Università e della Ricerca attraverso NextGenerationEU.



HAMLET: development of a generative Deep Learning algorithm to guide craniofacial bone defects reconstruction

Giovanni Badiali^{1,3}, Samuele Salti², Mirko Bevini³, Stefano Mazzocchetti², Giuseppe Lisanti²,
Achille Tarsitano^{1,3} e Luigi Di Stefano²

¹ Department of Biomedical and Neuromotor Sciences, University of Bologna, Italy

² Department of Computer Science and Engineering, University of Bologna, Italy

³ IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Italy

Introduction – With the present study we present the development of a deep learning algorithm which can semi-automatically reconstruct craniofacial bone defects and its clinical application as an aid in surgical virtual planning on a selected cohort of cases.

Methods – 950 partial and complete CT scans of the craniofacial region not presenting bone defects or anomalies were selected and segmented to obtain cranial and mandibular meshes. The obtained closed-surface meshes were then point-pairwise aligned to a common natural head position. The position-normalized meshes were then subdivided into training and test subgroups with a relative numerosity of 9:1. Meshes belonging to the training group underwent a random defect simulation, the size of which was coherent with surgical resections or large enough to fully envelop malformed craniofacial regions and were then used for algorithm training. The selected model architecture is based on implicit surface completion methods. We then applied the obtained algorithm on several clinical use cases of surgical virtual planning aiming to a preliminary validation of its real practice usability.

Results – For the current phase of the project the algorithm test output was qualitatively evaluated for defect reconstruction quality by region. A remarkable reconstruction quality was achieved for most macroscopic areas of the cranium and mandible. Upper and lower dental arches, as well as the temporomandibular joint region, did not achieve comparable reconstructive accuracy. Quantitatively, the average error on the test subset, computed as distance, in the reconstructed region was 1.6 mm (st. dev. 0.5mm), and was below 3mm in 93% of cases. The surgical virtual planning of the selected clinical cases was successfully completed with satisfactory and realistic results.

Discussion – The deep learning algorithm proved promising in providing surgeons with a further guide for the planning and design of craniofacial reconstructions. Further enlargement of the CT dataset with consideration for different ethnicities and improvement of high frequency details, such as teeth, are needed before its clinical implementation. A complete clinical validation should be performed, potentially leading to an actual clinical application.

References

1. Kodym, O., Španěl, M. & Herout, A. Skull shape reconstruction using cascaded convolutional networks. *Comput. Biol. Medicine* 123, 103886 (2020).
2. Xiong, Y.-T. et al. Virtual reconstruction of midfacial bone defect based on generative adversarial network. *Head & Face Medicine* 18, 19 (2022).



Three-Dimensional Bioprinted Controlled Release Scaffold Containing Mesenchymal Stem/Stromal Lyosecretome for Bone Regeneration

Franca Scocozza^{1,2}, Elia Bari³, Sara Perteghella^{4,5}, Marzio Sorlini^{5,6}, Ferdinando Auricchio^{1,2},
Maria Luisa Torre^{3,5}, Michele Conti^{1,2}

¹ Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia, Pavia, Italy

² P4P S.r.l., Pavia, Italy

³ Department of Pharmaceutical Sciences, University of Piemonte Orientale, Novara, Italy

⁴Department of Drug Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy

⁵PharmaExceed S.r.l., Pavia, Italy

⁶Department of Innovative Technologies, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Lugano University Centre, Viganello, Switzerland

Introduction – Thermoplastic biomaterials are widely used in bone tissue engineering to 3D print scaffolds thanks to their ability to support loads. Sometimes cells fail to colonize the scaffold properly, both in vitro and in vivo. Enriching the scaffold with the secretome (i.e., a pool of substances secreted by mesenchymal stem cells-MSCs) promotes regeneration [1]. A 3D bio-printed hybrid scaffold, enriched with lyosecretome intended for the in vitro and in vivo controlled release of MSCs paracrine factors contained into the lyosecretome, is proposed to promote bone regeneration for future clinical applications in the maxillofacial field.

Methods – A 3D coprinting strategy was implemented to allow the deposition of the polycaprolactone and the lyosecretome-laden hydrogel (Fig 1). The combination of these two biomaterials ensures both the structural stability of the scaffold and control of lyosecretome release during the cell culture by positively influencing the deposition of bone mineralized matrix. The manufacturing process of the hybrid scaffold was optimized. Mechanical/structural and release properties could influence biological features, so a balance between these requirements must be found. To this end, an experimental and numerical study of the scaffold's mechanical properties and lyosecretome release was performed. Finally, in vitro biological characterization of the scaffold was assessed.

Results – From the structural point of view, the inclusion of the alginate implies the presence of voids in the structure of the scaffold with a consequent decrease in its mechanical strength compared to the standard solution without inclusions, as well as the design parameters (infill pattern). From the release point of view, by increasing alginate concentration and double crosslinking, the lyosecretome release was slowed down. Experimental results confirmed numerical data. Osteogenic differentiation results demonstrated that lyosecretome markedly improved the osteoinduction and osteoconduction of the scaffold, already at 14 days of culture.

Discussion – The use of a (validated) computational framework is a promising tool to support the design of a bio-printed scaffold intended for the state-of-the-art, controlled release of lyosecretome to promote bone tissue regeneration. Therefore, prototypes are now available for safety and efficacy tests for future maxillofacial clinics.

References

1. Bari, E.: Freeze-Dried Secretome (Lyosecretome) from Mesenchymal Stem/Stromal Cells Promotes the Osteoinductive and Osteoconductive Properties of Titanium Cages. *Int. J. Mol. Sci* 22(16), 8445 (2021).



Progetto CRIO2AR – Utilizzo di stampa 3D e Realtà Aumentata nel trattamento crioterapico del Tumore a Cellule Giganti dell'Osso

Antonio D'Arienzo¹, Lorenzo Andreani¹, Branimir Scognamiglio¹, Edoardo Ipponi¹, Sara Condino², Marina Carbone², Vincenzo Ferrari², Paolo Domenico Parchi¹

¹ Dipartimento di Ortopedia e Traumatologia, Università degli Studi di Pisa

²EndoCAS Center, Dipartimento di Ricerche Traslazionali e Nuove Tecnologie in Medicina e Chirurgia, Università degli Studi di Pisa

³Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università degli Studi di Pisa

Introduzione – Il tumore a cellule giganti dell'osso rappresenta circa il 5% di tutti i tumori ossei primitivi e circa il 20% di quelli benigni che viene trattato con soluzioni chirurgiche aggressive che producono importanti limitazioni funzionali. Ciononostante il tasso di recidiva è ancora elevato [1,2]. Per ridurlo, nel corso degli anni sono stati utilizzati trattamenti adiuvanti intraoperatori. Uno di questi è la crioterapia [3], ma la localizzazione delle sonde di ghiaccio non è ancora stata standardizzata. Crio2AR è uno studio in corso che valuta la pianificazione preoperatoria del posizionamento delle sonde utilizzando stampe anatomiche 3D e tecnologia di realtà aumentata (AR).

Risultati – Crio2AR è uno studio prospettico randomizzato, controllato, a due bracci, in cui si usa la crioterapia adiuvante dopo pianificazione preoperatoria standard o tecnologia di AR e ricostruzione 3D. I gruppi sono composti da 5 pazienti e gli outcome sono: qualità della procedura chirurgica, qualità di vita del paziente, dolore post-operatorio, tasso di recidive. A partire dalla simulazione virtuale viene creato un modello di AR visualizzabile con sistema HoloLens e supportato da una stampa 3D. Il follow-up clinico e strumentale è condotto a 2-6-12 mesi dalla procedura chirurgica. I due gruppi saranno confrontati con un terzo gruppo ottenuto dalla nostra casistica di pazienti trattati senza crioterapia. L'età media dei pazienti è di 36,8 anni, sei di loro hanno completato un follow-up di 12 mesi con assenza di recidive locali. I chirurghi che hanno utilizzato la tecnologia AR hanno dichiarato di essere entusiasti dell'esperienza. Il sistema HoloLens è indossabile, confortevole e l'interfaccia utente del software utilizzato per la realtà aumentata è facile da usare

Discussione – I risultati che abbiamo prodotto sono ancora preliminari. Nel contesto della difficoltà della pianificazione preoperatoria delle sonde crioterapiche la metodica che proponiamo risponde a diverse esigenze richieste dai chirurghi. Appurata l'usabilità della tecnologia, vanno ampliati gli studi che la utilizzino

Riferimenti

1. Van der Heijden L, Dijkstra PD, van de Sande MA, et al. The clinical approach toward giant cell tumor of bone. *Oncologist* 2014; **19**(5): 550-61.
2. Tsukamoto S, Mavrogenis AF, Kido A, Errani C. Current Concepts in the Treatment of Giant Cell Tumors of Bone. *Cancers (Basel)* 2021; **13**
3. Colangeli S, Parchi P, Andreani L, Beltrami G, Scoccianti G, Sacchetti F, Ceccoli M, Totti F, Campanacci DA, Capanna R. Cryo-therapy efficacy and safety as local therapy in surgical treatment of musculoskeletal tumours. A retrospective case series of 143 patients. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2018 Nov-Dec;32(6 Suppl. 1):65-70. PMID: 30644284.



3D bioprinted osteosarcoma constructs: an alternative model for Boron Neutron Capture Therapy studies

Elena Delgrosso¹, Franca Scocozza², Laura Cansolino^{1,3}, Ian Postuma³, Silva Bortolussi^{3,4}, Michele Conti², Cinzia Ferrari^{1,3}

¹Dip. Scienze Clinico-Chirurgiche, Diagnostiche e Pediatriche, Università di Pavia, Pavia, Italia

²Dip. di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Pavia, Pavia, Italia

³Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Pavia, Italia

⁴Dip. di Fisica, Università di Pavia, Pavia, Italia

L'osteosarcoma è un tumore osseo maligno che colpisce principalmente bambini e giovani adulti, caratterizzato da una bassa sopravvivenza a causa della crescita invasiva e della diffusione metastatica. La Terapia per Cattura Neutronica del Boro (BNCT) è studiata come alternativa, utilizzando neutroni per distruggere selettivamente le cellule tumorali arricchite di 10-boro. Tuttavia, gli studi precedenti su modelli in vitro e in vivo hanno presentato limitazioni. Il 3D bioprinting ha mostrato potenziale nella creazione di modelli tumorali, offrendo un'alternativa promettente. Questo studio mira a sviluppare modelli tumorali tridimensionali in vitro per studi preclinici di BNCT [1]. La linea cellulare di osteosarcoma di ratto (UMR-106) è stata incapsulata in un hydrogel di alginato di sodio-SA 8% e gelatina-Gel 4% e successivamente stampata per ottenere costrutti con 2×10^6 cellule. La colonizzazione del costrutto è stata valutata settimanalmente mediante fissazione con etanolo al 70% e colorazione con Hoechst in microscopia a fluorescenza. La seconda parte dello studio si è incentrata sulla valutazione dell'impiego di tali costrutti in studi preclinici in ambito BNCT. Il successo di questa terapia dipende principalmente dall'accumulo selettivo del boro all'interno delle cellule tumorali. È stato quindi fondamentale fare un'analisi di quantificazione dei livelli intracellulari di boro, tenendo conto che i biomateriali che costituiscono il costrutto potrebbero interferire con la misurazione e con la captazione del boro da parte delle cellule all'interno del gel. I costrutti biostampati hanno mostrato una colonizzazione cellulare completa entro 28 giorni dalla stampa. La valutazione dei livelli intracellulari di boro effettuata mediante autoradiografia neutronica ha evidenziato interferenze dovute alla presenza dell'hydrogel sia nell'uptake da parte delle cellule incapsulate nei costrutti che nella rivelazione delle tracce. I costrutti di osteosarcoma biostampati rappresentano un modello alternativo efficace. Tuttavia, la quantificazione dei livelli intracellulari di boro richiede ulteriori miglioramenti per rendere il modello adatto agli studi di BNCT.

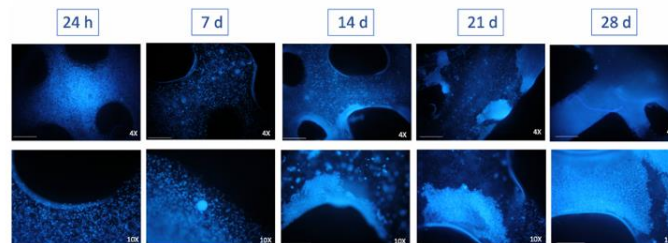


Fig. 1. Immagini proliferazione cellulare all'interno dei costrutti stampati.

Riferimenti

1. Delgrosso E., et al. 3D bioprinted osteosarcoma model for experimental Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) applications: Preliminary assessment. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 111(8), 1571–1580 (2023).



Prosthetic-guided mandibular reconstruction: Avoidance of the double-barrel fibula free flap with custom morphologic reconstructive implants

F. Ceccariglia¹, G. Badiali¹, F. Contedini³, M. Pignatti², G. Pellegrino⁴, P. Felice⁴, L. Breschi⁵, A. Tarsitano¹

¹ IRCCS Azienda Ospedaliero Universitaria di Bologna, Oral and Maxillofacial Surgery Unit, Sant'Orsola Hospital, Bologna, Italy; Department of Biomedical and Neuromotor Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy.

² IRCCS Azienda Ospedaliero Universitaria di Bologna, Plastic Surgery Unit, Sant'Orsola Hospital - Bologna, Italy.

³ Plastic Surgery Unit, Hospital-University of Ferrara, Italy.

⁴ Oral Surgery Unit, Department of Biomedical and Neuromotor Sciences, University of Bologna, Italy.

⁵ Department of Biomedical and Neuromotor Sciences, University of Bologna, Italy.

Introduction – The fibula free flap represents the gold standard for mandibular reconstruction. However, this flap, harvested as single-bar, does not allow to restore the native mandibular height, adequate for a correct aesthetic rehabilitation of the patient. The aim of this study is to present a new design of a patient-specific morphologic reconstructive implant able to position the fibula in a coronal position, while helping to maintain the mandibular profile and ensuring morphological restoration.

Methods – Twenty-six patients with benign and low-grade malignant tumors of the mandible were enrolled prospectively between January 2019 and May 2024. All patients underwent a segmental mandibular resection and prosthetically guided reconstruction making use of a fibula free flap supported by the custom morphologic implant. The mean follow-up period was 40 months. All microvascular and implant-related complications were recorded.

Results – Two patients out twenty had a microvascular failure. No implant-related complications were observed during the post-operative follow-up, except a fracture of a prosthesis two years after the surgery. The reconstructive accuracy was verified performing a superimposition between the STL files of the surgical planning and the STL files of the post-operative CT scan. In all treated patients, the bony flap appeared to be adequate in relation to the intermaxillary relationship and in a prosthetically correct position for a physiologically implant rehabilitation, as pre-operative planned. Dental rehabilitation has been completed for 11 patients with a mean follow-up period of 26 months.

Discussion – The proposed reconstructive method was found to be reliable and reproducible. In all treated patients, the bony flap appeared to be adequately positioned to maintain the preoperative intermaxillary relationship, as planned. To date, dental rehabilitation has been completed for all patients with satisfactory results.

References

1. Tarsitano A, Ceccariglia F, Bevini M, Breschi L, Felice P, Marchetti C. Prosthetically guided mandibular reconstruction using a fibula free flap: three-dimensional Bologna plate, an alternative to the double-barrel technique. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2023 Apr;52(4):436-441. doi: 10.1016/j.ijom.2022.08.006.
2. Tarsitano A, Battaglia S, Corinaldesi G, Marchetti C, Pellegrino G, Ciocca L. Mandibular reconstruction using a new design for a patient-specific plate to support a fibular free flap and avoid double-barrel technique. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2021 Jun;41(3):230-235. doi: 10.14639/0392-100X-N0549.



Le complicanze nella ricostruzione custom-made della regione periacetabolare

Guido Scoccianti¹, Maurizio Scorianz¹, Davide Stimolo¹, Alessandro Perrone¹, Mattia Carminati¹, Francesco Muratori¹, Domenico Andrea Campanacci¹

¹ SOD Ortopedia Oncologica e Ricostruttiva, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, Firenze, Italia

Introduzione – La ricostruzione della regione periacetabolare nelle situazioni di grave perdita di sostanza, sia per patologie oncologiche che per fallimenti di chirurgia protesica, è caratterizzata da una particolare complessità per le peculiarità anatomiche e funzionali dell'area. L'introduzione delle protesi custom-made ha offerto un importante ausilio per il Chirurgo ortopedico, ma ancora vi sono pochi dati sui risultati a distanza e sulle complicanze.

Metodi – Abbiamo rivalutato una serie di 23 casi di ricostruzioni con protesi custom-made della regione periacetabolare effettuate presso la nostra Struttura nel periodo dal 2015 al 2021. Tredici pazienti erano affetti da patologia oncologica (primitiva o secondaria); dieci pazienti erano affetti da esiti di fallimenti di chirurgia protesica.

Età all'intervento 20-79 anni (media 53).

Lo studio è stato finalizzato alla valutazione delle complicanze postoperatorie.

Risultati – Le complicanze riscontrate sono state le seguenti:

- Decesso perioperatorio (giorno 1) 1 caso (4%).
- Deiscenza precoce di ferita necessitante revisione chirurgica 6 casi (26%).
- Infezione profonda 8 casi (35%) di cui 3 casi risolti dopo intervento DAIR associato a procedura di chirurgia plastica (2) o DAPRI (1), 2 casi con persistente infezione trattata con terapia antibiotica soppressiva cronica, 1 caso con mantenimento di blocco spaziatore, 1 caso esitato in flail hip, 1 caso con risultato non valutabile per breve follow-up (progressione sistemica oncologica).
- Lussazione 6 casi (26%), di cui 3 revisioni chirurgiche.
- Trombosi arteria femorale 1 caso.
- Deficit neurologico 2 casi.
- Necessità di successiva riduzione volumetrica della protesi 3 casi.

Discussione – La tecnologia custom-made presenta vantaggi ormai con risultati consolidati su resezione e stabilità meccanica delle ricostruzioni periacetabolari. È però chirurgia ad alto rischio per tempi e ampiezza dell'esposizione chirurgica, tipologia paziente, qualità tessuti locali, con un'alta incidenza di complicanze, in particolare infezione (35% nella nostra serie) e instabilità. Le frontiere ulteriori su cui lavorare sono in questo senso soprattutto un miglioramento delle superfici protesiche, con rivestimenti con attività antimicrobica efficace e caratteristiche fisico-geometriche di superficie facilitanti l'adesione delle parti molli (per ridurre gli spazi morti), una riduzione dei volumi protesici per favorire la chiusura delle parti molli, soluzioni innovative per la stabilità articolare.



Ricostruzioni Custom-made di Scapola dopo Resezioni per Tumori Primitivi. Quale Design Protesico nelle Diverse Situazioni Cliniche?

Roberto Scanferla¹, Maurizio Scorianz¹, Francesco Muratori¹, Guido Scoccianti¹, Giovanni Beltrami² e Domenico Andrea Campanacci¹

¹ Department of Orthopedics Oncology and Reconstructive Surgery, AOU Careggi, Florence, Italy.

² Department of Paediatric Orthopaedics, Meyer University Hospital, Florence, Italy.

Introduzione – La ricostruzione della scapola e il ripristino della funzionalità della spalla dopo resezione per tumori primitivi rappresenta una sfida, considerata la necessità di sacrificare i muscoli della cuffia dei rotatori e la capsula articolare [1]. L'obiettivo di questo studio è quello di definire il design protesico indicato nelle diverse situazioni cliniche, confrontando i risultati funzionali dei pazienti trattati per un tumore primitivo con resezione scapolare e ricostruzione con protesi custom-made.

Metodi – Otto pazienti sono stati retrospettivamente valutati; sette sono stati sottoposti a scapulectomia totale, mentre in uno è stata parziale. In cinque pazienti è stata posizionata una protesi omerale (4 vincolate e una anatomica) e in tre pazienti è stata eseguita una trasposizione del gran dorsale, pro-deltaide in uno e per fornire maggior stabilità protesica in due.

Risultati – Ad un follow-up medio di 46 mesi (12 – 81) si sono verificate due complicazioni che hanno richiesto un trattamento chirurgico in due pazienti (una recidiva locale e una deiscenza di ferita); si sono verificate inoltre una lussazione risolta incruentemente e una TVP trattata con anticoagulanti. Nessuna complicazione ha richiesto la rimozione della protesi. L'MSTS score medio era di 24 (19 – 30), con uno score medio di 22 (21 – 25) nei pazienti con protesi vincolata, di 24 (19 – 28) nei pazienti senza protesi omerale e di 30 nel paziente con protesi parziale di scapola.

Discussione – Dopo resezione della scapola, la ricostruzione con protesi custom-made rappresenta un'opzione valida, con buoni risultati funzionali e basso tasso di complicazioni. I risultati funzionali sono migliori nei pazienti in cui si riesca a preservare la cuffia dei rotatori e la sua innervazione; nei casi in cui la cuffia dei rotatori sia resecata, un design protesico vincolato permette di migliorare i risultati funzionali.

References

1. Yu XJ, Liu QK, Wang YG, Wang SX, Lu R, Xu HR, Wan JL, Kang H. Oncologic and functional outcomes of different reconstruction modalities after resection of chondrosarcoma of the scapula: a medium- to long-term follow-up study. BMC Musculoskelet Disord. 2022 Aug 8;23(1):758.



Salvataggio dell'articolazione del gomito utilizzando una componente custom made nelle revisioni di protesi di omero in oncologia ortopedica

Maurizio Scorianz¹, Guido Scoccianti¹, Davide Stimolo¹, Mattia Carminati¹ e Domenico Andrea Campanacci¹

¹ SODc Ortopedia Oncologica e Ricostruttiva AOU Careggi - Firenze

Introduzione – Lo scopo del nostro studio è stato quello di esaminare i risultati clinici della protesi di omero con componente personalizzata per preservare il gomito nativo in caso di porzione residua minima dell'omero distale.

La revisione delle protesi tumorali di omero prossimale può talvolta richiedere la conversione in un omero totale in caso di insufficiente tessuto osseo residuo nell'omero distale. Una componente custom made può preservare l'articolazione del gomito evitando la sostituzione totale dell'omero.

Metodi – Tre pazienti sono stati sottoposti a ricostruzione dell'omero prossimale con uno stelo su misura dal 2018 al 2020 per una revisione dopo il fallimento della megaprotesi per recidiva locale in 2 casi e frattura dell'allotrapianto osteoarticolare in 1 caso. L'impianto custom made è stato progettato con uno stelo intramidollare corto e due flange epicondilarie per ottenere una fissazione combinata intra ed extramidollare.

Risultati – Il follow-up medio è stato di 61 mesi. Due pazienti hanno sviluppato una recidiva locale. In un paziente, la recidiva ha coinvolto solo i tessuti molli, mentre nell'altro è stato necessario sostituire gli elementi di estensione della protesi per rimuovere la recidiva.

Il punteggio funzionale medio secondo MSTS era 19, il Mayo Elbow Score era eccellente in tutti i pazienti.

Discussione – L'uso di uno stelo su misura ha evitato l'uso di una protesi totale di omero in questi pazienti, con eccellenti risultati funzionali del gomito all'ultimo follow-up. Questa soluzione tecnica può migliorare la qualità della vita in questi pazienti in cui la funzione dell'arto superiore è già compressa dalla limitata funzione della spalla.



Resezione juxta-articolare per tumori primitivi ossei del ginocchio utilizzando mascherine di taglio stampate in 3D e ricostruzione biologica

Maurizio Scorianz¹, Guido Scoccianti¹, Lorenzo Guariento¹, Monica Carfagni² e Domenico
Andrea Campanacci¹

¹ SODc Ortopedia Oncologica e Ricostruttiva AOU Careggi - Firenze

² Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università degli Studi di Firenze

Introduzione – Lo scopo del nostro studio è stato quello di sviluppare guide di taglio stampate in 3D in lega di titanio che consentono una precisa resezione dei tumori primitivi dell'osso juxta articolari e che permettano la modellazione dell'allotrapianto, consentendo quindi una ricostruzione biologica della zona di ginocchio resecata preservando l'articolazione.

Metodi – Tra dicembre 2017 e giugno 2021, 10 pazienti sono stati sottoposti presso il nostro istituto a una resezione multiplanare juxta-articolare del ginocchio per un tumore primitivo osseo. La resezione è stata eseguita utilizzando una guida di taglio su misura in lega di titanio stampata in 3D. La ricostruzione è stata eseguita utilizzando un allotrapianto con forma personalizzata. Il follow-up medio è stato di 50 mesi

Risultati – Lo studio dell'accuratezza del taglio è stato eseguito mediante esame digitale delle immagini TC del pezzo anatomico da resezione. È stato possibile valutare l'accuratezza dei tagli sui campioni di resezione di 6 pazienti; l'errore medio di taglio è stato di 2,9 mm. I margini chirurgici sono risultati ampi in tutti i pazienti. Due pazienti hanno sviluppato complicazioni postoperatorie, in un solo caso la complicanza ha portato alla rimozione dell'allograft. All'ultimo follow up il punteggio medio secondo la Muscoloskeletal Tumor Society era 26, il punteggio medio secondo l'Oxford Knee Score era 44.

Discussione – I nostri risultati sono promettenti e dimostrano la possibilità di ottenere tagli precisi con margini ampi. Le complicanze possono essere gestite nella maggior parte dei casi preservando l'allotrapianto.

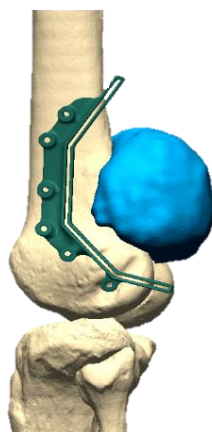


Fig. 1. Mascherina di taglio custom made stampata in 3D in lega di titanio.

Ringraziamenti

Lo studio è stato finanziato dalla Regione Toscana.



Metodologia automatizzata per la valutazione dell'accuratezza della chirurgia mandibolare computer-assistita

Elisa Vargiu¹, Francesca Uccheddu¹, Giordana Bettini², Alberto Bedogni¹ e Roberto Meneghello¹

¹ DTG (E.V., R.M.), DII (F.U.), DNS (A.B.) Università degli Studi di Padova, Padova, Italia

² UOC Chirurgia Maxillo-facciale Ospedale S. Anna, Como, Italia

Introduzione – Negli ultimi decenni, la diffusione delle tecnologie di Computer-Aided Design (CAD) e Computer-Aided Manufacturing (CAM) ha rivoluzionato il settore della chirurgia ricostruttiva mandibolare portando significativi miglioramenti nella personalizzazione e precisione delle procedure chirurgiche [1]. Nonostante questi progressi, la valutazione post-operatoria rimane una sfida. Nel presente studio viene presentata l'automatizzazione del metodo 'Global Positioning Layout' (GPL) [2]. Questo procedimento, completamente indipendente dall'operatore, fornisce una valutazione istantanea dell'accuratezza della ricostruzione mandibolare tramite tecnologie CAD-CAM.

Metodi – L'automatizzazione del metodo è stata realizzata mediante l'utilizzo di uno strumento di programmazione Python integrato all'interno del software Geomagic Wrap® (Oqton, 3D Systems, Inc., South Carolina, USA). Lo script è stato organizzato per fornire un'interfaccia intuitiva che consenta all'utente di selezionare al momento dell'avvio la cartella contenente i modelli del paziente da elaborare. Una volta inizializzato, lo script procede automaticamente replicando tutti gli step previsti dal metodo manuale, rendendo il processo efficiente e affidabile.

Risultati – La procedura automatizzata è stata testata su due casi clinici con difetti mandibolari differenti, il primo con un difetto di tipo H e un secondo con un difetto di tipo L. Entrambi i pazienti sono stati sottoposti a ricostruzione mandibolare tramite dispositivi protesici Replica [3]. In ambedue i casi il software è stato in grado di gestire efficacemente il confronto tra il modello progettato e quello post-operatorio, senza richiedere interventi aggiuntivi da parte dell'operatore, e di calcolare le deviazioni sottoforma di matrice di rototraslazione.

Discussione – Nelle ricostruzioni mandibolari assistite dalle tecnologie CAD-CAM, la valutazione dell'accuratezza è cruciale per il successo clinico. Il metodo Global Positioning Layout (GPL) si presenta come una soluzione promettente, fornendo una valutazione automatica delle discrepanze tra il modello virtuale tridimensionale post-operatorio e il progetto prefissato. Ciò consente di ridurre i tempi operativi e di ottenere un output immediato e privo di variabilità. Questi sviluppi rappresentano un passo significativo verso una procedura più efficiente nella chirurgia ricostruttiva mandibolare.

Riferimenti

1. Mahendru S, Jain R, Aggarwal A, Aulakh HS, Jain A, Khazanchi RK, et al. CAD-CAM vs conventional technique for mandibular reconstruction with free fibula flap: A comparison of outcomes. *Surg Oncol.* 2020 Sep 1;34:284–91.
2. Menapace G, Bettini G, Franco P, Saia G, Sandi A, Meneghello R, Bedogni A, Introduzione ad un nuovo metodo automatizzato per la valutazione della precisione nelle ricostruzioni mandibolari CAD-CAM con tecnologia additiva, 28° Congresso nazionale SIM, Genova, 2019
3. Bedogni A, Bettini G, Bedogni G, Menapace G, Sandi A, Michelon F, et al. Safety of boneless reconstruction of the mandible with a CAD/CAM designed titanium device: The replica cohort study. *Oral Oncol.* 2021 Jan 1;112.



Caratterizzazione dei Materiali per Simulatori Chirurgici di Modelli Vascolari

Lorenzo Civilla^{1,2}, Maria Riviello^{1,3}, Markus Königshofer¹, Diego Gallo³, Francesco Moscato^{1,2,4}

¹Center for Medical Physics and Biomedical Engineering, Medical University of Vienna, Vienna, Austria

²Ludwig Boltzmann Institute for Cardiovascular Research, Vienna, Austria

³Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Politecnico di Torino, Torino, Italy

⁴Austrian Cluster for Tissue Regeneration, Vienna, Austria

Introduzione – Le attuali tecnologie emergenti sono impiegate nello sviluppo di simulatori vascolari sintetici per applicazioni quali l'addestramento e la pianificazione preoperatoria, con particolare riguardo a interventi per aneurismi cerebrali e chirurgia di bypass. La fedeltà fisica di tali simulatori, cruciale per la loro funzionalità, è influenzata principalmente dai materiali utilizzati e dalle tecniche per la loro fabbricazione. La letteratura scientifica ha discusso di modelli vascolari elastici, cavi e personalizzati; tuttavia, persiste una lacuna riguardante una caratterizzazione esaustiva e un'analisi comparativa quantitativa dei materiali e delle metodologie impiegate. Il nostro studio si è focalizzato sul confronto di diverse metodologie di produzione di simulatori (neuro)vascolari al fine di determinare l'approccio più efficace in termini di realismo fisico.

Metodi – Nel presente studio sono stati analizzati quattordici (n=14) materiali frequentemente impiegati nella ricerca e sviluppo di modelli vascolari sintetici. Questi includono nove tipi di silicone commercialmente disponibili con varie gradazioni di durezza, adatti per tecniche di colata e stampaggio a iniezione, una resina morbida per la stereolitografia, due materiali morbidi per la stampa 3D a getto d'acqua, e due tipi di silicone utilizzati nella fabbricazione di modelli mediante deposizione fusa. Le valutazioni meccaniche sono state condotte conformemente alle normative ISO 868 e ISO 37, includendo test di durezza su scala Shore A e AO, test di trazione monoassiale, e test di agopuntura. I dati raccolti sono stati successivamente confrontati quantitativamente con le proprietà dei vasi biologici.

Risultati – Le analisi hanno evidenziato sfide produttive e limitazioni nelle tecniche di fusione e stampaggio a iniezione per la creazione di campioni di piccole dimensioni. Tra i materiali esaminati, alcuni hanno mostrato proprietà simili ai tessuti biologici: sette materiali presentavano una durezza Shore A inferiore a 10; sei avevano una resistenza alla trazione compresa tra 1 MPa e 6 MPa, con un allungamento alla rottura variante dal 60% al 290%; undici materiali avevano un modulo elastico tra 0,2 e 3,5 MPa. Inoltre, quattro dei materiali sottoposti a test di agopuntura hanno dimostrato una forza di inserimento dell'ago realisticamente compresa tra 1 e 10 N. È stata anche osservata e quantificata la variabilità nei risultati dei test di trazione per i campioni stampati in 3D, a seconda dell'orientamento della stampa. Il materiale più efficace nel simulare le proprietà tipiche della neurovascolatura è risultato il DragonSkin 10 Fast commerciale, con una durezza Shore A di $13,62 \pm 0,57$, una resistenza alla trazione di $1,07 \pm 0,04$ MPa, un allungamento alla rottura di $221,39 \pm 10,99\%$, un modulo elastico di $0,25 \pm 0,02$ MPa e una forza di inserimento dell'ago di $14,70 \pm 1,81$ N.

Discussione – Vari materiali esaminati hanno evidenziato adeguate proprietà di elasticità e durezza, qualificandosi come potenziali candidati per imitare le caratteristiche dei tessuti neurovascolari. In prospettiva, l'utilizzo di siliconi in combinazione con tecniche di produzione additiva rappresenta una promettente opportunità per l'avanzamento verso applicazioni di pianificazione preoperatoria personalizzata.



Manufacturing process of microstructured surfaces to enhance hemocompatibility tested in a microfluidic circuit

Marta Bonora¹, Stjepan Perak², Sonja Kopp³, Richard Benauer⁴, Markus Lunzer², Michael M. Mühlberger³ (c), Francesco Moscato^{1,5,6}

¹ Center for Medical Physics and Biomedical Engineering, Medical University of Vienna, 1090, Austria

² UpNano GmbH, Vienna, 1030, Austria

³ PROFACTOR GmbH, Steyr, 4407, Austria

⁴ Bionic surface technologies GmbH, Graz, 8041, Austria

⁵ Ludwig Boltzmann Institute for Cardiovascular Research, Vienna, 1090, Austria

⁶ Austrian Cluster for Tissue Regeneration, Vienna, 1090, Austria

Introduction – Heart failure ranks as the primary cause of death in Western nations, Left ventricular assist devices (LVADs) contribute to patient survival and enhance quality of life. The interaction between blood and the implant surface is however crucial, as thrombus formation on internal surfaces must be prevented [1], [2]. The aim of this study is to manufacture and recreate flow conditions of a new paediatric LVAD in a microfluidic setup for testing the thrombogenicity of various artificially micropatterned surfaces. The design of micropatterned surfaces should repel platelets and enhance the action of wall shear stress in washing away platelets aggregate on the surface. Microstructure areas, where flow might encourage cell attachment, are made inaccessible due to geometric and wettability constraints.

Methods – Microstructures efficacy is tested in static and dynamic experiments. The static and microfluidic chip assays are constructed with a multi-step process involving two-photon polymerization (2PP) and nanoimprint lithography (NIL). The initial step involves fabricating master-structures of the ramp with microstructures and a channel cover through 2PP. This master structure for the channel cover is replicated multiple times on a larger substrate to expedite the production of the PDMS channel cover. The microfluidic devices are then created through PDMS casting and nanoimprinting with OrmoComp (micro resist technology). A gradient structure is included in a single channel by placing microstructures on a ramp, providing a range of flow conditions and these evaluated using computational fluid dynamics (4-130 Pa).

Results – Findings regarding microstructure under static conditions show a reduced platelet adhesion supporting the structure design hypotheses, The manufacturing of the dynamic microfluidic assay has been successful performed and tests with blood will follow.

Discussion – Preliminary results showed that microstructured surfaces reduce notably the adhesion of platelets. However, the microstructured surface have to be investigated under flow, especially in an environment of high shear stress.

References

1. Li, Y. et al. A new way to evaluate thrombotic risk in failure heart and ventricular assist devices. *Med Nov Technol Devices* 16, (2022).
2. Vitale, N. et al. Left Ventricular Assist Device Thrombosis: Combined Approach by Echocardiography and Logfiles Review for Diagnosis and Management. *Braz J Cardiovasc Surg* 37, (2022).



Integrazione di Bioprinting e Simulazioni Numeriche per la Validazione Sperimentale degli Endograft nella Chirurgia delle Patologie Aortiche

Luca Battaglia ¹, Michele Conti ², Franca Scocozza ² e Giovanni Spinella ³

¹ Dipartimento di Medicina Sperimentale, Università di Genova, Genova, Italia

² Organizzazione, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Pavia, Pavia, Italia

³ Organizzazione, Dipartimento di Chirurgia vascolare ed endovascolare, Ospedale Policlinico San Martino, Genova, Italia

Introduzione – Il trattamento delle patologie aortiche richiede soluzioni innovative per migliorare l'efficacia e la sicurezza degli interventi chirurgici [1]. Al fine ridurre i rischi associati alle procedure attuali dovute alla mancanza di compliance degli endograft disponibili off-the-shelf (OTS), questo lavoro propone l'utilizzo del bioprinting e delle simulazioni numeriche. L'obiettivo è prevedere il comportamento di endograft personalizzati, biostampati con variazioni specifiche delle loro caratteristiche morfologiche e meccaniche.

Metodi – Per valutare la fattibilità della produzione di un endograft personalizzati prodotto in policaprolattone (PCL) 50KDa, la Chronic Outward Force (COF) del dispositivo viene valutata utilizzando simulazioni numeriche di crimping, partendo dalla replica di dispositivi OTS (Fig 1.a) per poi riprodurli tramite stampa 3D con una bioprinter ad estrusione pneumatica - Axolotl Axo A3 (Fig 1.b). I ring vengono compressi all'interno di un catetere fino alla dimensione d'impianto endovascolare, osservando la Reaction Force (RF) esercitata in rilascio, viene misurato l'impatto del biopolimero sulle caratteristiche meccaniche del ring, rispetto alle leghe metalliche a memoria di forma attualmente in commercio. Con la stessa metodologia viene investigata l'influenza delle caratteristiche geometriche del ring sulla COF, per modularne la risposta meccanica.

Risultati - Le simulazioni numeriche hanno mostrato che cambiando il materiale del ring dell'endograft da nitinol a PCL, la RF diminuisce di 100 volte, da 3.17N a 0.04N. Evidenziando punti critici nella tenuta e adesione del dispositivo al vaso. Inoltre, la COF è influenzata da parametri geometrici come il diametro del ring e la geometria dello stesso. Variando questi parametri è possibile modulare la COF dei dispositivi, per ottenere una forza radiale maggiore, personalizzabile sulle caratteristiche meccaniche del vaso nativo.

Discussione – Il presente studio promuove l'utilizzo del bioprinting e delle simulazioni numeriche per ottimizzare il design e le performance degli endograft, migliorando così l'efficacia degli interventi chirurgici e la qualità di vita dei pazienti facendo leva sul concetto di medicina personalizzata.

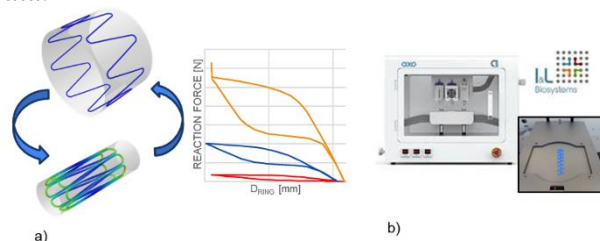


Fig. 1. Schematizzazione delle simulazioni di crimping, la cui validazione avviene con prove sperimentali su prototipi stampati in 3D.

Riferimenti

1. Spinella G, et al. Assessment of geometrical remodeling of the aortic arch after hybrid treatment. Eur J Cardiothorac Surg. 2019 Jun 1;



IV Congresso Nazionale IDBN – Italian Digital Biomanufacturing Network
26-27 Settembre 2024, Firenze, Italia

Valutazione della resistenza a corrosione e tribocorrosione della lega CoCrW prodotta mediante tecnica SLM

Alessandra Palombi^{1*}, Francesco Andreatta², Lorenzo Fedrizzi², Alex Lanzutti^{2**}, M. Magnan², Francesco Sordetti², Marco Sortino², Giovanni Totis², Emanuele Vaglio² e
Alessandra Varone¹

¹ Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”, Dipartimento di Ingegneria Industriale, via del Politecnico 1, 00133, Roma, Italia

² Università degli Studi di Udine, Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, via delle Scienze 208, 33100, Udine, Italia.

Introduzione – Le leghe CoCrW sono largamente impiegate per la produzione di impianti dentali, solitamente con rivestimenti ceramici. Questi materiali, solitamente lavorati da barre forgiate o lingotti da fonderia, presentano buona resistenza a corrosione combinata a buona resistenza ad usura. Ad oggi è possibile produrre tali leghe anche mediante tecnologie additive, il risultato è un materiale con una microstruttura completamente diversa.

Metodi – In questo lavoro sono state studiate la resistenza a corrosione e a tribocorrosione di una lega CoCrW stampata mediante Selective Laser Melting (SLM) rispetto al materiale forgiato. I provini sono stati stampati sia in direzione parallela al piatto di stampa che perpendicolare ad esso. In particolare, in materiale è stato analizzato nelle condizioni tal quale e dopo trattamenti termici (1100°C per 1h e successivo raffreddamento in forno). Tutti i campioni sono stati caratterizzati mediante microscopia ottica, analisi FE_SEM, misure SKPFM, diffrazione dei raggi-X e indentazione strumentata FIMEC). Test potenziodinamici sono stati condotti sui campioni immersi in due diversi mezzi corrosivi contenenti NaCl con pH 2 e 7. Test di tribocorrosione, in modalità pin on flat (lunghezza della corsa 1.2 mm e 10 mm, frequenza 1 Hz e carico 225 N) sono stati effettuati sugli stessi campioni, nello stesso mezzo usato nei test di corrosione.

Risultati – I provini stampati presentano caratteristiche di resistenza a corrosione paragonabili al materiale forgiato e una migliore resistenza ad usura. Il trattamento termico comporta una variazione della microstruttura, con un accrescimento dei grani.

Discussione – I risultati preliminari mostrano che i campioni stampati presentano una resistenza a corrosione e tribocorrosione più alta rispetto allo stesso materiale prodotto mediante forgiatura. Il trattamento termico ha invece un effetto negativo su tali proprietà.



Miglioramento delle caratteristiche superficiali di un acciaio inox 316 L per applicazioni biomedicali prodotto mediante manifattura additiva

E. Bolli¹, S. Kaciulis¹, A. Lanzutti², A. Mezzi¹, R. Montanari³, A. Palombi^{3*}, F. Sordetti², E. Vaglio², A. Varone³, C. Verona³

¹ ISMN-CNR, P.O. Box 10, 00015 Monterotondo Stazione, Roma, Italia

² Università degli Studi di Udine, Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, via delle Scienze 208, 33100, Udine, Italia.

³ Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”, Dipartimento di Ingegneria Industriale, via del Politecnico 1, 00133, Roma, Italia

Introduzione – Gli acciai inox austenitici, in particolare il 316 L, sono largamente impiegati in impianti biomedicali, come ad esempio viti e piastre, grazie alle loro buone proprietà meccaniche, buona lavorabilità e elevata resistenza a corrosione. Tuttavia, l’impiego di tali materiali per impianti che devono resistere ad usura in ambienti fisiologici è limitato dal rischio di rilascio di ioni metallici e detriti, dannosi per il corpo umano. Pertanto, risulta necessario l’impiego di trattamenti superficiali per migliorare la durezza e la resistenza a corrosione. Tra questi, la cementazione a bassa temperatura è il più efficace.

Da una precedente indagine su campioni di acciaio 316 L, prodotti mediante Laser-Powder Bed Fusion (L-PBF), è risultato che trattamenti di cementazione assistita da plasma a bassa temperatura per 7 ore in diverse miscele di gas portano alla formazione di uno strato superficiale (~ 25 µm) di austenite espansa (fase-S) e alla deposizione di uno strato sottile (2 µm), duro e fragile di Diamond-Like Carbon (DLC). La presenza di questo strato ha effetti dannosi sul comportamento ad usura: durante i test tribologici si frattura e si stacca dalla superficie metallica, i detriti agiscono come particelle abrasive e aumentano il tasso di usura.

Metodi – Per favorire la formazione della fase-S ma, allo stesso tempo, impedire la deposizione dello strato di DLC, sono stati effettuati trattamenti in una miscela di 2,5% CH₄ + H₂ per tempi più brevi (30, 45, 60, 90, 105 e 120 minuti). La miscela di gas selezionata è quella che ha portato alla migliore resistenza all'usura.

Risultati – I nuovi trattamenti hanno portato, in tutti i casi, alla formazione di uno strato di austenite espansa e, di conseguenza ad un miglioramento della durezza superficiale. Tale miglioramento cresce con il tempo di trattamento ma, passando da 60 a 120 minuti, non si apprezzano differenze sostanziali. La formazione di DLC si registra per tempi di trattamento superiori a 105 minuti.

Discussione – Dai tali risultati il trattamento per 60 minuti sembra essere il più promettente in quanto porta ad un notevole indurimento superficiale, rispetto al materiale non trattato, ma previene la formazione dello strato di DLC, dannoso per la resistenza ad usura.



Integrazione di un'applicazione di Realtà Virtuale per la formazione medica in Moodle: uno studio di usabilità

Davide Ferrari¹, Andrea Vitali¹, Daniele Regazzoni¹ e Caterina Rizzi¹

¹ Università di Bergamo, Italia

Introduzione – Una formazione medica basata sulla simulazione di scenari di emergenza urgenza in pronto soccorso è necessaria per ridurre la frequenza degli errori clinici [1]. La Realtà Virtuale (VR) sta diventando uno strumento importante in questo ambito [2], ma l'accessibilità tecnologica (ad esempio, l'uso di un visore VR da remoto) e l'integrazione con le soluzioni standard di e-learning sono attualmente limitate [3]. Questo articolo presenta la progettazione di un corso per studenti di infermieristica utilizzando la piattaforma e-learning Moodle, integrando come materiale didattico un'applicazione VR per l'uso del carrello di emergenza per traumi alle vie aeree. Un'analisi di usabilità è infine effettuata coinvolgendo studenti universitari e professori di infermieristica.

Metodi – L'applicazione VR è sviluppata in collaborazione con personale medico specializzato. Il docente universitario del corso e-learning genera le sessioni di simulazione VR accessibili da più studenti simultaneamente. Gli studenti di infermieristica accedono alla piattaforma Moodle ed oltre al materiale di studio standard (slide e video tutorial) usano l'ambiente VR da remoto: ogni studente può interagire col carrello di emergenza, selezionare la strumentazione all'interno di ogni cassetto e studiarne le caratteristiche mostrate attraverso una lavagna virtuale. All'interno dell'ambiente virtuale, lo studente può anche eseguire un test a risposta multipla. L'integrazione in Moodle consente il salvataggio dei dati delle sessioni VR e il monitoraggio dei risultati degli studenti da parte del professore.

Risultati – L'analisi di usabilità è eseguita utilizzando il Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ). 5 docenti universitari e 19 studenti di infermieristica sono stati coinvolti: il PSSUQ è valutato positivo con score finale minore di 28,5% (più lo score è basso, migliore è l'usabilità). I punteggi medi finali di studenti e docenti sono rispettivamente 28,2% e 19,3%. In particolare, considerando gli studenti, le valutazioni peggiori sono dovute alla qualità dell'informazione e dell'interfaccia, con un punteggio di 31,2% e 29,6%.

Discussione – L'integrazione della VR in Moodle è risultata efficace e facilmente accessibile da remoto. L'analisi di usabilità mostra valutazioni positive da parte dei professori, mentre gli studenti evidenziano aree di miglioramento relative alle informazioni dell'interfaccia. Complessivamente i risultati sono positivi, confermando l'efficacia dell'integrazione in Moodle di applicazioni VR per la formazione medica.

Riferimenti

1. Kohn, L., Corrigan, J., Donaldson, M.: To Err is Human. Building a Safer Health System. Committee on Quality of Health Care in America. Washington, DC: Institute of Medicine. 1999.
2. Pottle, J.: Virtual reality and the transformation of medical education. *Future Healthc J*, vol. 6, pp. 181–185 (2019).
3. Gupta, S., Wilcocks, K., Matava, C., Wiegelmann, J., Kaustov, L., Alam, F.: Creating a Successful Virtual Reality-Based Medical Simulation Environment: Tutorial. *JMIR Med Educ*, vol. 9, p. e41090 (2023)



Stabilità microstrutturale di una lega biocompatibile Co28Cr6Mo prodotta mediante manifattura additiva

Alessandra Fava¹, Saulius Kaciulis², Alessandra Mezzi², Roberto Montanari³, Alessandra Palombi³, Alessandra Varone^{3*}

¹ ENEA, Department for Sustainability—Research Centre of Casaccia, Santa Maria di Galeria, 00123 Rome, RM, Italy

² ISMN-CNR, P.O. Box 10, 00015 Monterotondo Stazione, Rome, Italy

³ Department of Industrial Engineering, University of Rome “Tor Vergata”, Via del Politecnico, 1, 00133, Rome, Italy

Introduzione – Nella produzione di dispositivi medici, impianti ortopedici e dentali, le leghe CoCrMo trovano largo impiego grazie alle elevate proprietà meccaniche e alla loro eccellente resistenza a corrosione e usura. La manifattura additiva di leghe a base Co non solo consente la produzione di dispositivi personalizzati che si adattano perfettamente all'anatomia del paziente e migliorano la funzionalità dell'impianto, ma può anche superare alcuni dei limiti che si presentano nei processi di manifattura convenzionali. Le leghe CoCrMo prodotte mediante manifattura additiva presentano una microstruttura cellulare fine costituita da fase γ metastabile e fase ϵ stabile.

Metodi – Nel presente lavoro sono stati condotti esperimenti di spettroscopia meccanica (SM) da temperatura ambiente a 800° C per valutare la stabilità microstrutturale di una lega CoCrMo con la seguente composizione chimica: Cr 27.0-30.0, Mo 5.0-7.0, Si < 1,0, Mn < 1,0, Fe < 0,75, Ni 0,25-0,50, C < 0,16, W < 0,20, Ti < 0,10, O < 0,10, (% in peso), bilancio di massa completato dal Co. Prima e dopo i test di MS sono state effettuate analisi XRD e XPS al fine di identificare l'eventuale segregazione di elementi di lega, come il Mo, e variazioni nella distribuzione chimica.

Risultati – I risultati delle prove di SM hanno evidenziato due principali fenomeni anelastici che si verificano durante il riscaldamento, uno legato allo scorrimento dei bordi tra le fasi γ e ϵ e l'altro alla diffusione superficiale del Mo. Si osserva anche una variazione delle percentuali di fase γ e ϵ , della loro morfologia, dell'orientazione dei grani e della densità di dislocazioni.

Discussione – La presenza della fase γ determina una condizione di non equilibrio termodinamico nel materiale di partenza che quindi subisce delle modifiche microstrutturali se sottoposto a trattamenti termici.



Advanced biomechanical modeling techniques and materials' analysis in dental structures

Giuliana Baiamonte¹, Fulvia Monaco¹, Giuseppe Laudani¹, Gianfranco Di Martino¹,
Riccardo Asero², Michele Cali¹

¹ Electric, Electronics and Computer Engineering Department, University of Catania, 95125 Catania, Italy

² Asero dental clinic, via Generale Cantore 23, 95123 Catania

The increase in dental diseases and the high demand for dental aesthetics in developed countries have favoured the growth of demand in the dental market for restorative treatments for damaged teeth and beyond. Today, modern prosthetic dentistry aims to find new materials whose biomechanical behaviour approximates that of natural enamel when subjected to functional loads [1]. Computer-aided engineering and manufacturing (CAD-CAE and CAD-CAM) can provide new technologies for the design and production of dental devices. The aim of this research is to analyze the biomechanical behaviour of new materials such as zirconia and silica-based ceramics; the mandibular kinematics and the effects of functional and para-functional loads on dental prostheses and supporting tissues are examined, starting with the acquisition of a virtual impression with an intra-oral scanner and the subsequent CAD design of a 3D model for the restoration. These technologies will enable the fabrication of dental structures with solid materials and/or cell structures characterised by variable anisotropy and porosity [2], providing patients with stable results over time. This will help minimise waiting times and production costs, as well as provide customised solutions of high precision and reduced invasiveness. The study was carried out in collaboration with the Asero dental clinic, via Generale Cantore 23, 95123 Catania [3, 4].

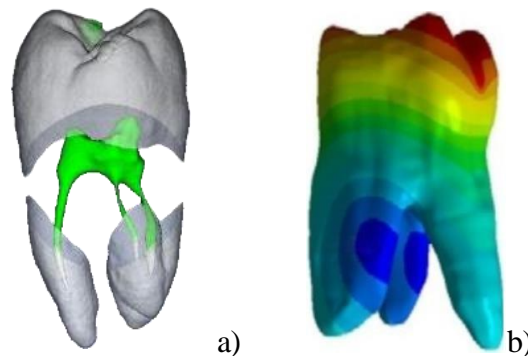


Fig. 1. a) MicroCT reconstruction of molar tooth; b) Cement-tooth interface shear stress analysis.

Riferimenti

1. Wilmers, J., & Bargmann, S. Nature's design solutions in dental enamel: Uniting high strength and extreme damage resistance. *Acta biomaterialia*, 107, 1-24 (2020).
2. Latimer, J. M., Maekawa, S., Yao, Y., Wu, D. T., Chen, M., & Giannobile, W. V. Regenerative medicine technologies to treat dental, oral, and craniofacial defects. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 9, 704048 (2021).
3. Cali, M., Zanetti, E. M., Oliveri, S. M., Asero, R., Ciaramella, S., Martorelli, M., & Bignardi, C. Influence of thread shape and inclination on the biomechanical behaviour of plateau implant systems. *Dental Materials*, 34(3), 460-469 (2018).
4. Pascoletti, G., Aldieri, A., Terzini, M., Bhattacharya, P., Cali, M., & Zanetti, E. M. Stochastic PCA-based bone models from inverse transform sampling: proof of concept for mandibles and proximal femurs. *Applied Sciences*, 11(11), 5204 (2021).



La stampa 3D in Monasterio per la pianificazione e simulazione paziente-specifico del trattamento di cardiopatie congenite

Alessandra Pizzuto¹, Kristian Ujka¹, Chiara Marrone¹, Massimiliano Cantinotti¹, Emanuele Gasparotti², Katia Capellini², Simona Celi², Giuseppe Santoro¹

¹ Cardiologia Pediatrica e del Congenito Adulto, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

² BioCardioLab, Unità di Bioingegneria, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

Introduzione – Al giorno d’oggi circa il 90% di pazienti con cardiopatia congenita raggiunge l’età adulta, rispetto al solo 20% registrato 50 anni fa. Questa popolazione ha caratteristiche anatomiche, intra ed extra-cardiache, spesso uniche ed imprevedibili ed è spesso sottoposta a multiple procedure chirurgiche o interventistiche complesse nel corso della vita.

Metodi – Partendo da immagini ottenute attraverso TC o RM, nel nostro centro, sono stati ricostruiti modelli anatomici tridimensionali mediante opportuni algoritmi di segmentazione, e successivamente realizzati attraverso tecniche di additive manufacturing [1]. In particolare, sono state impiegate le tecniche di sinterizzazione laser (SLS) e di deposizione fusa (FDM). I modelli ottenuti sono stati utilizzati per eseguire simulazioni ex-vivo degli interventi con la strumentazione clinica (quali: stent, endoprotesi, cateteri guida, introduttori) dedicata per il caso in esame, lavorando direttamente in sala di emodinamica sotto imaging intraprocedurale [2,3].

Risultati – Tali simulazioni hanno permesso di eseguire con successo una pianificazione accurata della procedura, prevedendo in anticipo l’accesso vascolare migliore per raggiungere la lesione da trattare, testando il tipo e le dimensioni della strumentazione da utilizzare (Fig. 1) nel corrispettivo caso in vivo, anticipando così eventuali possibili complicanze dell’intervento.

Discussione – Nel complesso, tale approccio permette di ridurre notevolmente la durata della procedura, limitando così i tempi di anestesia, la quantità di radiazioni ionizzanti e di mezzo di contrasto da utilizzare, tutti aspetti fondamentali soprattutto in pazienti critici o in cui è prevedibile, nell’arco della vita, la necessità di multiple procedure invasive diagnostiche e terapeutiche.

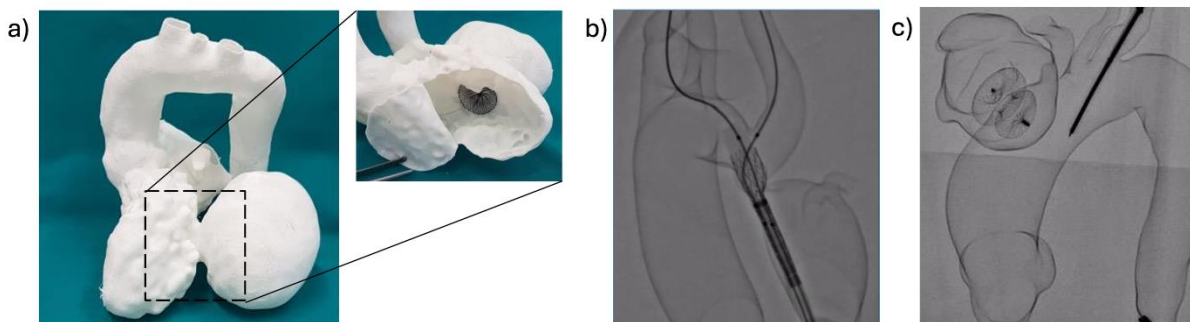


Fig. 1. Esempio di chiusura di pseudo-aneurisma ventricolare (a) su modello in FDM, espansione di stent per coartazione aortica (b) e di device per pseudo-aneurisma arco aortico (c) su modelli in SLS.

Riferimenti

1. Celi, S., et al.: 3D Printing in modern cardiology. *Curr. Pharm. Des.* 27(16), 1918-1930 (2021).
2. Pizzuto, A., et al.: Transcatheter treatment of native idiopathic multiloculated aortic aneurysm guided by 3D printing technology. *JACC Case Reports.* 8,101662. (2023).
3. Scalera, S., et al.: 3D printed model-guided neonatal transcatheter closure of left main coronary artery-to-right ventricle fistula. *JACC Case Reports.* 16, (2023).



Utilizzo di banco prova basato su stampa 3D per simulare l'interazione del cuore con l'ECMO veno-arterioso periferico

Massimo Scolaro¹, Dorela Haxhiademi¹, Emanuele Gasparotti², Emanuele Vignali², Simona Celi², Paolo Del Sarto¹

¹ UOC Anestesia e Rianimazione, Fondazione Toscana “G. Monasterio,” Massa, Italia

² BioCardioLab, Unità di Bioingegneria, Fondazione Toscana “G. Monasterio,” Massa, Italia

Introduzione – Il VA-ECMO (Veno-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation) è un tipo di supporto meccanico temporaneo utilizzato in caso di insufficienza cardiaca. Nella conformazione femoro-femorale, determina un flusso di sangue retrogrado potenzialmente controproducente per il recovery cardiaco.

Metodi – È stato creato un mock circulatory loop (fig 1) caratterizzato da una pompa volumetrica [1] (rappresentante il ventricolo sinistro), un'aorta stampata 3D; a tale modello, è stato collegato un circuito ECMO ad accesso periferico. Il modello dell'aorta, composto da ascendente, arco e discendente, è stato ottenuto con stampante 3D a partire da una risonanza magnetica su un soggetto sano. Al circuito, per ogni branca vascolare sono state aggiunte delle resistenze e delle camere di compliance, secondo il modello di Windkessel. Al mockloop è stato connesso un ECMO con pompa centrifuga, connessa all'altezza della biforcazione iliaca. In sistema è stato sensorizzato al fine di misurare flussi e pressioni. In fase sperimentale, si sono effettuate simulazioni di failure cardiaco, riducendo la funzione della pompa ventricolare misurando variazioni di flusso e pressioni con e senza ECMO.

Risultati – Per flussi incrementali di assistenza, si osserva un aumento delle pressioni registrate nella camera ventricolare e un ripristino dei flussi in aorta. Inoltre, considerando il loop pressione volume della pompa, si è osservato come all'aumentare dei livelli assistenza, incrementava il lavoro ventricolare.

Discussione – L'utilizzo del banco prova creato dal team BioCardioLab, ha permesso di studiare, in un albero vascolare normale, le interazioni complesse di flussi e pressioni che si possono creare in un paziente in ECMO; tali elementi non possono essere facilmente rilevati in vivo.

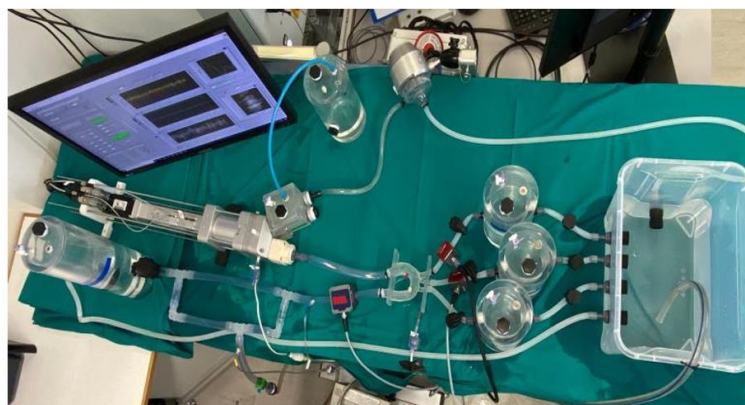


Fig. 1. Mock circulatory loop composto da pompa a pistone, fantoccio di aorta stampato in 3D, camere pressorie, pompa ECMO.

Riferimenti

1. Vignali, E.: High-versatility left ventricle pump and aortic mock circulatory loop development for patient-specific hemodynamic in vitro analysis ASAIO Journal, 68.10: 1272-1281 (2022).



La stampa 3D per la pianificazione chirurgica di patologie cardiovascolari complesse: l'esperienza della Monasterio

Francesca Chiaramonti¹, Emanuele Gasparotti², Katia Capellini², Michele Murzi¹, Pier Andrea Farneti¹, Giovanni Concistrè¹, Enkel Kallushi¹, Marco Solinas¹ e Simona Celi²

¹ Cardiocirurgia Adulti, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

² BioCardioLab, Unità di Bioingegneria, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

Introduzione – La stampa 3D è sempre più spesso utilizzata in ambito cardiovascolare per l'educazione e il training medico, la simulazione e il planning di procedure chirurgiche/interventistiche [1,2]. In questo lavoro si riporta la descrizione dell'utilizzo e dell'efficacia dei modelli 3D per il planning chirurgico di casi complessi di patologie cardiovascolari.

Metodi – A partire da immagini TAC sono stati ricostruiti e stampati i modelli 3D di 3 casi complessi di patologie aortiche con indicazione chirurgica (stenosi valvolare aortica severa in paziente con fibrotorace (caso 1), stenosi sottovalvolare aortica per presenza di una struttura membranosa sottovalvolare (caso 2) e ectasia dell'aorta ascendente e dell'arco in presenza di device di occlusione di condotto pervio tra aorta e arteria polmonare (caso 3)). I modelli 3D sono stati impiegati nella fase di pianificazione dell'intervento chirurgico in aggiunta alle immagini mediche.

Risultati – Le ricostruzioni virtuali e le stampe dei modelli 3D sono visibili in Figura 1. Relativamente al modello 3D del caso 1, costituito dalle strutture cardiovascolari e da parte della gabbia toracica, è stata valutata la fattibilità ed il planning di un approccio toracotomico. Nel caso 2 il modello stampato ha permesso di identificare con maggior precisione l'estensione e la posizione della membrana sottovalvolare, permettendo la sua rimozione utilizzando un approccio mininvasivo. Il modello 3D del caso 3 ha permesso di valutare più accuratamente la posizione del device impiantato e conseguentemente la lunghezza dell'aorta da sostituire senza la rimozione del device stesso.

Discussione – L'utilizzo di modelli stampati in 3D ha reso possibile una migliore comprensione delle strutture anatomiche di interesse e delle loro relazioni spaziali, permettendo una più accurata definizione dell'approccio chirurgico tradizionale o mininvasivo.

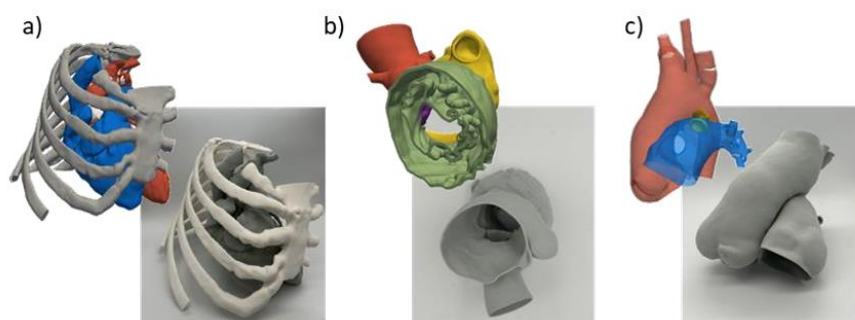


Fig. 1. Modelli 3D virtuali e stampati per i tre casi descritti: caso 1 (a), caso 2 (b) e caso 3 (c).

Riferimenti

1. Capellini, K. et al.: 3D Printing and 3D virtual models for surgical and percutaneous planning of congenital heart diseases. In VISIGRAPP (3: IVAPP), pp. 281-287. (2020).
2. Santoro, G. et al.: Transcatheter treatment of “complex” aortic coarctation guided by printed 3D model. JACC Case Reports. 3(6), 900-904. (2021).



Development and testing of a patient-specific cardiovascular simulator for interventional valve-in-valve procedure training

Emanuele Gasparotti¹, Benigno Marco Fanni¹, Roberta Zola², Chiara Corno², Massimiliano Mariani³, Sergio Berti³, Simona Celi¹

¹ BioCardioLab, Bioengineering Unit, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

² Edwards Lifescience, Irvine, USA

³ Adult Cardiology, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

Introduction – In the treatment of failed mitral valve prostheses, mitral valve-in-valve (MVIV) replacement, based transcatheter aortic valve implantation (TAVI), is emerging as a promising alternative to traditional open-heart surgery. However, the complexity of this procedure [1] demand comprehensive training platforms to ensure procedural proficiency and patient safety.

Methods – An MVIV simulator was constructed using Computed Tomographic images to recreate three-dimensional geometries of the right circulation (femoral veins, cava veins, right atrium) and left heart structures (ventricle, atrium, fossa ovalis) along with the surgical mitral valve (PERIMOUNT, Edwards Lifescience). The simulator, manufactured via additive manufacturing techniques combining transparent rigid resin and deformable silicone, included four cameras replicating echographic and angiographic views for intra-procedural imaging. To validate the simulator's efficacy, simulation-based sessions of the entire MVIV procedure were conducted using real clinical instrumentation, including the TAVI system (SAPIEN 3, Edwards Lifescience), by expert clinicians to evaluate the fidelity of the simulator in reproducing the VIV procedural steps.

Results – The clinicians found that the simulator faithfully replicated every step of the entire MVIV procedure, including the release of the TAVI over the previous surgical valve, the interaction between the clinical catheters and the simulator, and the inter-procedural views captured by the cameras.

Discussions – The development and validation of patient-specific cardiovascular simulators mark a significant step in interventional MVIV training. Utilizing 3D printing technology and transcatheter valve instruments, the simulator offers a realistic and efficient training environment, facilitating the acquisition of crucial skills and enhancing procedural outcomes.

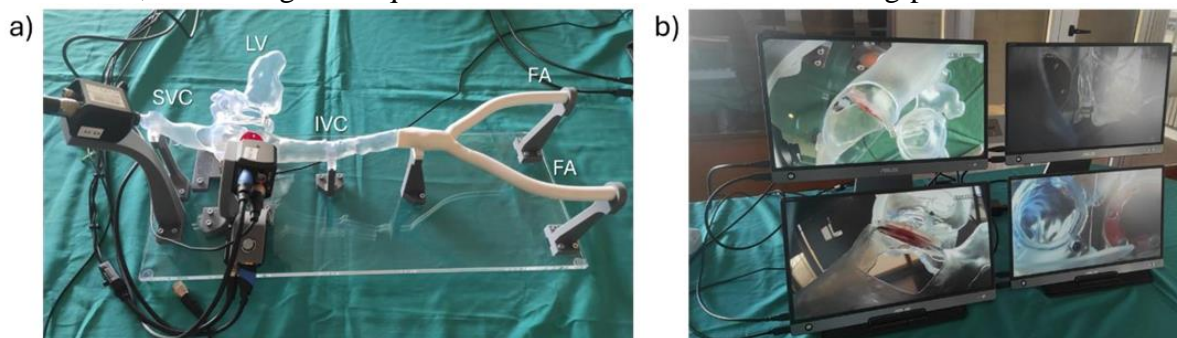


Fig. 1. MVIV simulator a) consisting of: femoral veins (FA), cava veins (SVC, IVC), right atrium, left ventricle (LV), left atrium, fossa ovalis, surgical mitral valve and cameras. Intra-procedural views b).

Riferimenti

1. Ejiofor, J. I., et al.: Outcomes of repeat mitral valve replacement in patients with prior mitral surgery: a benchmark for transcatheter approaches. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 156(2), 619-627 (2018).



Il ruolo della stampa 3D nella pianificazione e nel training della chiusura dell'auricola sinistra

Emanuele Gasparotti¹, Benigno Marco Fanni¹, Mattia Dell'Amico¹, Augusto Esposito²,
Francesca Danielli³, Francesca Berti³, Guido Parodi⁴, Giancarlo Pennati³, Lorenza Petrini³,
Sergio Berti², Simona Celi¹

¹ BioCardioLab, Unità di Bioingegneria, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

² Cardiologia Adulti, Fondazione Toscana “G. Monasterio”, Massa, Italia

³ LaBS, Dipartimento di Chimica e Materiali, Politecnico di Milano, Milano, Italia

⁴ Cardiologia Adulti, ASL4, Genova, Italia

Introduzione –Lo sviluppo della procedura percutanea di chiusura dell'auricola sinistra (LAAO) negli ultimi anni è emersa come un'alternativa alla terapia farmacologica, tuttavia l'uso di questa procedura è attualmente limitato a centri specializzati. Lo scopo del lavoro è valutare l'utilità dei simulatori in vitro per supportare la pianificazione clinica della LAAO e aiutare la formazione clinica alla procedura.

Metodi – Per lo scopo stati realizzati due diversi simulatori: il primo era finalizzato all'addestramento clinico alla LAAO, mentre il secondo è stato sviluppato al fine di quantificare la stasi ematica all'interno della LAA (LAAML). Il simulatore LAAO riproduce l'anatomia di un paziente attraverso stampa 3D della regione destra e delle regioni sinistre del cuore, utilizza l'imaging procedurale e il cateterismo interventistico (Fig.1a). Il simulatore LAAML è composto da un fantoccio siliconico di atrio sinistro, una pompa ventricolare e PIV (Fig.1b).

Risultati – Il simulatore LAAO ha permesso un elevato grado di realismo dell'esecuzione di tutti gli step della procedura, mentre il modello realizzato di atrio sinistro in silicone si è dimostrato compatibile con la procedura PIV consentendo una caratterizzazione fluidodinamica dell'auricola sinistra.

Discussione – Le attività realizzate hanno permesso di definire uno strumento per la pianificazione clinica della LAAO [1] e permesso di definire strumenti di training innovativi per la formazione di giovani clinici.

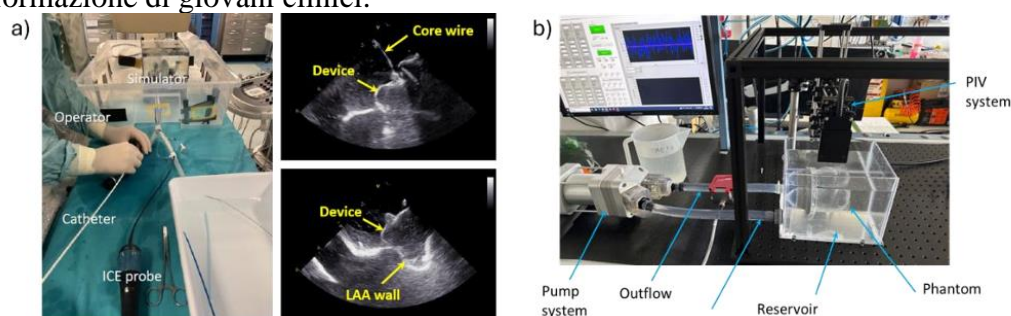


Fig. 1. Simulatore intervento LAAO (a) e simulatore LAAML (b).

Riferimenti

1. Fanni, B. M., et al.: Correlation between LAA morphological features and computational fluid dynamics analysis for non-valvular atrial fibrillation patients. *Applied Sciences*, 10(4), 1448 (2020).

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dal Ministero della Salute italiano con il progetto “PLACE Planning LAa Closures” (RF 2021 12375208).



Sviluppo di un Metodo Digitalizzato per la Progettazione e la Manifattura Additiva di Mantentori di Spazio Ortodontici

Francesco Tamburrino¹, Beatrice Aruanno¹, Andrea Chiocca¹, Armando V. Razionale¹,
Alessandro Paoli¹, Elisabetta Carli², Lisa Lardani², Maria Rita Giuca², Sandro Barone¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa

² Dipartimento di Patologia Chirurgica, Medica, Molecolare e dell'Area Critica, Università di Pisa

Introduzione – La dentizione primaria è cruciale nell'influenzare la comparsa dei denti permanenti. La perdita prematura di denti decidui può comportare spostamenti dentali indesiderati e perdita di spazio nella dentizione permanente [1]. Tipicamente, apparecchi dentali fissi o rimovibili vengono adottati per mantenere lo spazio edentulo fino alla eruzione dei denti permanenti. Tuttavia, i mantentori di spazio tradizionali presentano limitazioni in termini di adattabilità alle diverse anatomie dentali, potenziali reazioni allergiche in alcuni individui, difficoltà nel mantenere l'igiene orale e accettazione da parte del paziente [2].

Metodi – Il presente studio introduce un approccio completamente digitale per la progettazione e la produzione di mantentori di spazio pediatrici unilaterali, personalizzati utilizzando algoritmi generativi. La metodologia proposta prevede le seguenti fasi: scansione intraorale, selezione e modifica della superficie di interesse, modellazione 3D generativa, analisi agli elementi finiti (FEA) e Manifattura Additiva (MA) tramite tecnica di VAT photopolymerization.

Risultati – Tutte le fasi del processo sono state verificate attraverso la progettazione e la stampa di un mantentore di spazio a partire da un caso studio. Le prestazioni meccaniche e l'affidabilità del dispositivo sono state verificate mediante un'analisi agli elementi finiti. Un primo prototipo è stato stampato e verificato sul modello di dentatura di partenza ed ha mostrato una buona finitura superficiale, precisione dimensionale e un adattamento all'anatomia dei denti corretto.

Discussione – La scansione intraorale permette la personalizzazione dei mantentori di spazio e di superare i limiti degli attuali metodi artigianali. La modellazione generativa e le simulazioni consentono di ottimizzare l'uso del materiale e garantire lo sviluppo di dispositivi poco invasivi e affidabili strutturalmente. La MA permette di realizzare forme complesse e personalizzate, non ottenibili con tecnologie di produzione tradizionali. In conclusione, l'approccio digitale sviluppato offre un elevato potenziale per un uso più ampio dei mantentori di spazio e potrà essere ulteriormente validato attraverso future valutazioni sperimentali e studi clinici.

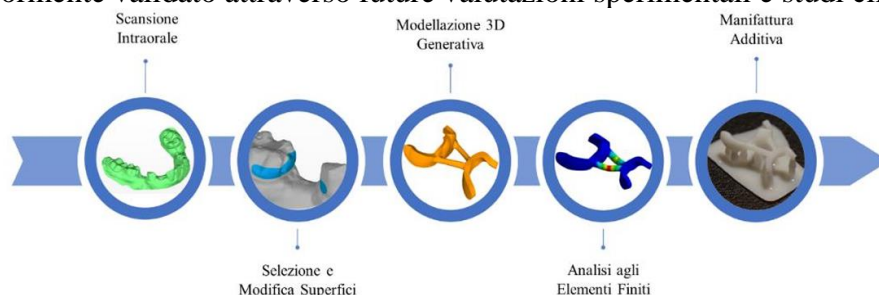


Fig. 1. Processo di progettazione digitale dei mantentori di spazio personalizzati.

Riferimenti

1. Barbería, E.; Lucavechi, T.; Cárdenas, D.; Maroto, M. Free-end space maintainers: Design, utilization and advantages. *J. Clin. Pediatr. Dent.* 2007, 31, 5–8.
2. Watt, E.; Ahmad, A.; Adamji, R.; Katsimbali, A.; Ashley, P.; Noar, J. Space maintainers in the primary and mixed dentition—A clinical guide. *Br. Dent. J.* 2018, 225, 293–298.



Circular Economy and 3D printing in the healthcare sector

Nada Khaled Mansour¹, Paolo Oliva¹ e Maria Laura Costantino²

¹ Humanitas Research Hospital, Rozzano (MI), Italia

² Politecnico di Milano, Milano, Italia

Introduzione – Questo lavoro indaga due aspetti della recente nascita del 3D Innovation Lab: (i) sostenibilità economica e ambientale; (ii) conformità al Regolamento sui Dispositivi Medici 2017/745 (MDR).

Materiali – Per investigare il punto (i) sono state eseguite raccolta, triturazione, estrusione e avvolgimento di tappi di bottiglia interni alla struttura ospedaliera [1]. Le attrezzature utilizzate sono: Felfil Shredder 750, Felfil Evo Extruder, Felfil Spooler+, e stampante 3D Kentstrappen Verve. La qualità del filamento è stata valutata tramite caratterizzazione meccanica [2]. Sono state svolte analisi economica e ambientale, e un esempio di stampa 3D con filamento riciclato nella pratica clinica. Per individuare la documentazione e i processi da certificare, è stata effettuata una gap-analysis analizzando il MDR [3].

Risultati – Ogni fase del processo è stata ottimizzata. Per migliorare l'adesione e ridurre la deformazione è stato aggiunto uno strato di poliuretano termoplastico sul piatto di stampa e quattro strati di rafting. I costi sono diminuiti dell'85,49% e le emissioni di anidride carbonica del 99,16% rispetto al filamento acquistato. L'analisi meccanica ha dimostrato il mantenimento delle proprietà rispetto alla plastica non riciclata [4]. È stata presentata la stampa di un modello anatomico di aneurisma per la pianificazione preoperatoria ed è stata prodotta la documentazione necessaria per l'utilizzo del dispositivo.

Discussione – Il lavoro dimostra che l'economia circolare in ospedale riduce l'impatto ambientale senza frenare l'avanzamento tecnologico. I limiti identificati sono stati ridotti, ma non del tutto eliminati. Pertanto, l'utilizzo di additivi o miscele di materiali rappresenta una possibile soluzione. L'utilizzo del filamento riciclato per la stampa di modelli anatomici, correlata alla riduzione dei costi e dell'impatto ambientale, dimostra come sia possibile migliorare la cura del paziente preservando la sostenibilità aziendale. In ultimo, la conformità normativa risulta fondamentale per garantire la sicurezza del paziente e dei dati sensibili.

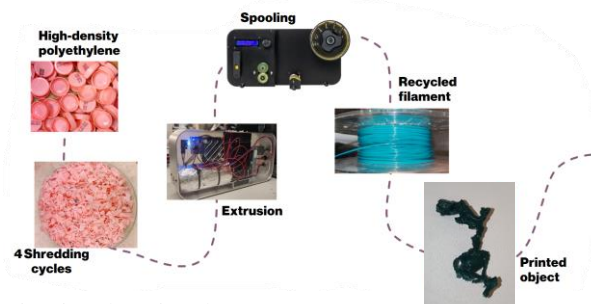


Fig. 1. Processo di economia circolare implementato.

Riferimenti

1. Carl G. Schirmeister et al., "3D printing of high-density polyethylene by fused filament fabrication," Additive manufacturing,
2. Santiago Rodrigues et al., "Towards optimization of polymer filament tensile test of material extrusion additive manufacturing process," Journal of Materials Research and Technology, 2023.
3. Associazione italiana ingegneri clinici, "Le tecnologie di additive manufacturing in sanità - Linee guida".
4. M. Olam, "Mechanical and Thermal Properties of HDPE/PET Microplastics, Applications, and Impact on Environment and Life," IntechOpen, 2023.



Humanitas 3D Innovation Lab: Premises and expected results

Paolo Oliva¹, Fabio Procopio¹, Maria Pinelli² e Nada Mansour¹

¹ Humanitas Research Hospital, Rozzano, Milano, Italia

² Politecnico di Milano, Milano, Italia

Introduzione - I "Physical anthropomorphic phantoms" sono modelli 3D avanzati del corpo umano utilizzati per simulazioni di imaging medico e formazione, capaci di replicare patologie complesse, rendendoli versatili per varie procedure mediche e scenari di formazione [1].

I phantoms stampati in 3D offrono una rappresentazione accurata dei tessuti e delle strutture anatomiche umane [2], replicando l'ambiente intraoperatorio e le proprietà meccaniche in vivo, migliorando la fiducia dei medici nelle procedure [3] e la comunicazione medico-paziente [4]. Inoltre, questi modelli possono sostituire o integrare il gold standard per la formazione chirurgica, i cadaver labs. Poiché studi precedenti hanno provato la superiorità della formazione in 3D rispetto a quella sui cadaveri [5], la loro combinazione potrebbe generare risultati ottimali. L'obiettivo di questo studio monocentrico è dimostrare il valore aggiunto dei phantoms stampati 3D su misura per i pazienti all'interno del 3D Innovation Lab della nostra struttura.

Metodi – Attraverso la progettazione e la produzione di 70 modelli stampati in 3D specifici per paziente per diverse unità chirurgiche, questo studio mira a dimostrare in due anni che questi modelli possono migliorare le capacità chirurgiche e gli esiti sui pazienti. Tramite una valutazione multi-disciplinare intendiamo misurare, in un'ottica di value-based healthcare [6], le conseguenze di salute sui pazienti comparate ai costi necessari per raggiungerle.

Risultati attesi – I risultati attesi di questo studio sono migliori esiti chirurgici grazie alla migliore conoscenza delle strutture anatomiche, ridotti tempi procedurali e tassi di ri-operazione. Inoltre, vorremo misurare le esperienze dei pazienti e l'accettabilità dei medici.

Discussione – Con questo studio vorremmo dimostrare la rilevanza per i chirurghi, i pazienti, e l'ospedale, di utilizzare phantoms specifici per i pazienti stampati 3D. Parte di questi modelli potranno essere prodotti direttamente dal riciclo della plastica raccolta nell'ospedale, in una logica di One Health. Infine, questi modelli potranno essere mantenuti in una libreria dell'università, per essere utilizzati come casi studio da discutere con gli studenti.

Riferimenti

1. Gargiulo, P. (2023). Handbook of Surgical Planning and 3D Printing. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02432-1>
2. Javan, R., & Zeman, M. N. (2018). A Prototype Educational Model for Hepatobiliary Interventions: Unveiling the Role of Graphic Designers in Medical 3D Printing. *Journal of Digital Imaging*, 31(1), 133–143. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-0012-4>
3. Peri, A., Marconi, S., Gallo, V., Mauri, V., Negrello, E., Abelli, M., Ticozzelli, E., Caserini, O., Pugliese, L., Auricchio, F., & Pietrabissa, A. (2022). Three-D-printed simulator for kidney transplantation. *Surgical Endoscopy*, 36(1), 844–851. <https://doi.org/10.1007/s00464-021-08788-1>
4. Hong, D., Lee, S., Kim, T., Baek, J. H., Kim, W. W., Chung, K.-W., Kim, N., & Sung, T.-Y. (2020). Usefulness of a 3D-Printed Thyroid Cancer Phantom for Clinician to Patient Communication. *World Journal of Surgery*, 44(3), 1. <https://doi.org/10.1007/s00268-019-05260-z>
5. Ye, Z., Dun, A., Jiang, H., Nie, C., Zhao, S., Wang, T., & Zhai, J. (2020). The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medical Education*, 20, 335. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02242-x>
6. Porter, M. E. (2008). Value-Based Health Care Delivery. *Annals of Surgery*, 248(4), 503–509. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31818a43af>



Revolutionizing Total Sternectomy: Insights from Two Case Reports and Innovative Solutions with 3D Printing Technology

Alberto Salvicchi¹, Simone Tombelli¹, Giovanni Mugnaini¹, Sara Borgianni¹, Domenico Viggiano¹, Alessandro Gonfiotti^{1,2}

¹ Thoracic Surgery AOU Careggi, Florence, Italy

² University of Florence, Florence, Italy

Introduction– Sternal resections and reconstructions pose a particular challenge in surgical practice. They require careful patient selection and consideration of the reconstructive technique to minimize the risk of thoracic instability. There are currently no guidelines or consensus that fully describe the indications for chest wall reconstruction. Due to the wide range of options available, it is therefore common to rely on expert consensus or the preference of the surgical team. Sternal tumors, while rare and heterogeneous, require similar surgical approaches, with reconstruction of the anterior chest wall critical for maintaining thoracic integrity and respiratory function [1,2,3].

Methods– We describe two cases in our institution with extensive and invasive malignant sternal tumors. Computed tomography showed a destructive lesion involving the sternal body. After a thorough preoperative discussion by a multidisciplinary team, we performed a total sternectomy with partial resection of the ribs, bilaterally. We then successfully implanted a custom-made titanium prosthesis (one of which was produced using 3D printing technology) Fig.1. In addition, we used a latissimus dorsi muscle flap to cover the sternal implant.

Results– The surgical procedure was successful, but the postoperative course was characterized by a long stay in the intensive care unit (about 3 weeks), as both patients required advanced ventilatory support and were then discharged with a tracheostomy.

Discussion– These cases shed light on the great difficulties in restoring the normal physiology of the chest, especially when the destruction is as impressive as in total sternectomy. The appropriate and ideal material for prosthetic reconstruction of the chest wall should be rigid enough to prevent paradoxical movement, fairly malleable, highly resistant to infection, biologically inert, radiolucent and inexpensive. In this scenario innovations in 3D printing technology are revolutionizing thoracic wall resection and reconstruction, offering personalized surgery and precise solutions for repairing defects [4]. Custom-made implants offer advantages over conventional prostheses and facilitate accurate restoration of appearance and respiratory function. The use of 3D-printed models helps with surgical planning and ensures precise implant placement, simplifying the challenges of reconstructing large sternal defects. Ultimately, the integration of 3D printing technology aims to optimize surgical outcomes, preserve the integrity of the chest wall and improve patients' quality of life [4].

References

1. Gonfiotti A, Salvicchi A, Voltolini L. Chest-Wall Tumors and Surgical Techniques: State-of-the-Art and Our Institutional Experience. *J Clin Med*. 2022 Sep 20;11(19):5516.
2. Aranda JL, Gomez MT, Fuentes M, Rivas C, Forcada C, Jimenez MF. Sternal resection and reconstruction: a review. *J Thorac Dis*. 2024 Jan 30;16(1):708-721.
3. Bongiolatti S, Voltolini L, Borgianni S, Borrelli R, Innocenti M, Menichini G, Politi L, Tancredi G, Viggiano D, Gonfiotti A. Short and long-term results of sternectomy for sternal tumours. *J Thorac Dis*. 2017 Nov;9(11):4336-4346.
4. Goldsmith I. Chest Wall Reconstruction With 3D Printing: Anatomical and Functional Considerations. *Innovations (Phila)*. 2022 May-Jun;17(3):191-200.



CAD/CAM Maxillary Reconstruction with Free Fibula Flaps and Simultaneous Dental Implant: Single Center Experience

Marco Conti¹, Debora Franceschi², Yary Volpe² and Giuseppe Spinelli¹

¹ Maxillofacial Surgery Department, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, 50134 Florence, Italy

² Università degli Studi di Firenze, P.zza S.Marco, 4, Florence, Italy

Introduction – Maxillary bone resections remain a challenge, impacting facial aesthetics, lip support, occlusion, and functionality. Osteocutaneous free fibula flaps are often required for multiple tissue reconstructions to treat either bone or mucosal defects. Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) reconstruction, incorporating vascularized fibula flaps and simultaneous dental implant allows a single-stage surgical approach for both functional and aesthetical results. This study aimed to evaluate the feasibility of simultaneous dental implant placement during maxillary reconstruction with a vascularized fibula flap, focusing on flap vitality, peri-implant tissue quality, correspondence between preoperative planning and postoperative outcomes, patient satisfaction, and long-term functional recovery

Methods – From 2020 to 2022, seven patients underwent maxillary reconstruction with a vascularized free fibula flap using CAD/CAM technology and simultaneous dental implant placement. Four mandibular and three upper maxillary resections and reconstructions were performed, with fibula flap osteotomy in six patients for three-dimensional maxillary reconstruction. Twenty-four dental implants were placed. Patients were followed up at 3, 6, 12, 18, and 24 months. Postoperative CT scans and annual X-rays assessed peri-implant tissue health and flap vitality. A questionnaire evaluating functional and aesthetical outcomes was administered to patients at 6 months post-surgery.

Results – No revisions of vascularized fibula flaps were needed. All patients (100%) were prosthetically rehabilitated without additional surgery. Two implants were lost in the same patient due to their exposure, but prosthetic rehabilitation continued. Analyses demonstrate variations with respect to the designed implant axis with an arithmetic mean of absolute values of 1.33mm in the X-axis, 1.35mm in the Y-axis, and 2.61mm in the Z-axis and a change in the implant axis angle of 9.11°. Controls at 3 and 6 months post-surgery demonstrated a 90% implant survival rate with one case showing a 1.5 mm crestal bone loss. Questionnaire results showed patient satisfaction, averaging 7.8 points on a scale of 1 to 10.

Discussion – The ability to create a final prosthetic design helps achieve the correct position of vascularized fibula flaps and dental implants, making this type of reconstructive surgery effective and functional in a single surgical procedure. CAD/CAM technology increases periprocedural precision by achieving accurate reconstructive results that optimize implant placement, thereby improving facial symmetry, function, and aesthetics. With the limitations of the case, given the small number of patients, we can say that the results are encouraging and that this surgical procedure can improve life quality and patient satisfaction. Future studies with a larger number of patients and a longer follow-up period would be helpful to confirm the results obtained.



Design and optimization of a 3D-bioprinted hydrogel as in vitro model for head and neck cancer

Aleksandra Evangelista¹, Silvia Pisani², Franca Scocozza³, Lorenzo Saddemi³, Michele Conti³, Ferdinando Auricchio³, Giulia Bertino¹, Marco Benazzo¹, Bice Conti²

¹ Department of Otorhinolaryngology, Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Pavia, Italy

² Department of Drug Sciences, University of Pavia, Via Taramelli 12, 27100, Pavia, Italy

³ Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia, Via Ferrata 3, 27100 Pavia, Italy

Introduction – The Hydrogel 3D model represents an innovative preclinical approach for exploring therapeutic strategies, such as electrochemotherapy, to study the chemotherapeutic activity of innovative dosage form in Head and Neck (H&N) cancer. Electrochemotherapy (ECT), which combines electroporation (EP) and chemotherapy, serves as a standard operating procedure (SOP) for managing cutaneous metastases, primary skin, and mucosal cancers that are unsuitable for surgical intervention [1].

Methods – The project's objective is to develop an in vitro 3D bioprinted model to investigate, within a 3D environment, the effects of EP on cells and the release and uptake of drugs from liposomes. Alginate and gelatin (SA-GEL) hydrogel were employed as biomaterial ink for biofabricating the H&N cancer model. Subsequently, cells embedded in the hydrogel underwent electroporation to enhance membrane selectivity and facilitate the passage of chemotherapeutic drugs.

Results – Gentamicin sulfate (GS), used as a model drug, was loaded into liposomes that underwent electroporation after being embedded in the 3D bioprinted hydrogel to evaluate release kinetic in simulated physiologic conditions (pH 7.4, 37°) [2]. Finally, Live&Dead analysis was performed to evaluate the viability of the pharyngeal carcinoma cells line derived from humans (ATCC-HTB-43 FaDu).

Discussion – Preliminary results showed that the alginate-gelatin hydrogel guarantees cell viability, and stability under electroporation treatment (up to 14 days), thus demonstrating its suitability as a model for the electroporation process. Furthermore, they highlighted the capability of electroporation, and even more so of liposomes, to enable prolonged drug release over time.

References

1. Pisani S, et al.: Electroporation in Head-and-Neck Cancer: An Innovative Approach with Immunotherapy and Nanotechnology Combination. *Cancers (Basel)*. 2022 Oct 31;14(21):5363.
2. Di Gravina GM, Bari E, Croce S, Scocozza F, Pisani S, et al.: Design and development of a hepatic lyo-dECM powder as a biomimetic component for 3D-printable hybrid hydrogels. *Biomed Mater*. 2023 Dec 4;19(1).

Acknowledgments

The work is funded by the Italian Ministry of Health, RC-2023 grant #08053922 “Nano Electro-Chemo-Immuno Therapy (NECIT) to enhance head and neck cancer treatment”.



Stampa 3D di una lega Nitinol con proprietà antibatteriche

Carlo Alberto Biffi^{1*}, Jacopo Fiocchi¹, Chiara Bregoli¹, Jannis Nicolas Lemke¹, Alberto

Coda¹, Francesca Sisto², Ausonio Tuissi¹

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Chimica della Materia Condensata e Tecnologie per l'Energia, CNR ICMATE, Lecco, Italia.

² Università di Milano, Dipartimento di Scienze Biomedicali, Chirurgiche e Dentali, Milano, Italia.

Introduzione – Il Nitinol è un materiale metallico tipicamente impiegato nel settore biomedicale, grazie alla sua elevata superelasticità, buona biocompatibilità e resistenza alla corrosione. È però ben noto che una delle principali cause di fallimento di elementi impiantabili dipende da infezioni batteriche, che tipicamente si possono manifestare nelle prime ore a seguito dell'operazione chirurgica. In alcuni casi si propongono rivestimenti di elementi batterici, quali Zn, Cu, Ga,ect, ma il problema principale di tale soluzione è la scarsa adesione al substrato. Dunque, in questo lavoro si propone di sviluppare un nuovo materiale, a base Nitinol (NiTi), a cui viene aggiunta una quantità limitata di Zn (2% in peso) per combinare la superelasticità ad una risposta antibatterica aumentata. Il processo di fabbricazione designato per questo lavoro è la stampa 3D, in particolare il processo Laser Powder Bed Fusion (LPBF), in quanto è oggi largamente utilizzato in ambito industriale per la realizzazione di protesi.

Metodi – Il lavoro prevede una prima parte di studio per determinare la processabilità di miscele di polveri al fine di produrre campioni densi di NiTi arricchiti al 2 % di Zn mediante il processo LPBF. A seguito di una campagna esplorativa per determinare i parametri di processo capaci di massimizzare la densità relativa, i campioni sono stati caratterizzati per valutarne la composizione chimica e le proprietà funzionali, tra cui la risposta meccanica e la risposta antibatterica nei confronti del battere *S. Aureous*.

Risultati e Discussione– Il processo LPBF ha consentito di raggiungere elevati valori di densità relativa (oltre il 99.5%) nel caso del materiale NiTiZn. Le prove meccaniche hanno messo in evidenza la capacità del materiale di mostrare valori di superelasticità (recupero di una deformazione del 5% a seguito di una deformazione imposta del 6%), confrontabile a quella del Nitinol convenzionale. Infine, le prove antibatteriche, eseguite a 6 ore, hanno messo in evidenza una riduzione della concentrazione di battere *S. Aureous* di circa del 95% nei confronti della popolazione iniziale. Al contrario, il Nitinol convenzionale ha esibito una proliferazione batterica dopo 6 ore con un aumento del 300% della popolazione iniziale. Si conclude che è stato possibile integrare proprietà funzionali diverse per ottenere un nuovo materiale con risposte avanzate nell'ottica di sviluppo di nuovi elementi impiantabili.



The PRECISE project: on the role of 3D reconstruction based on image registration for maxillofacial applications

Simone Garzia^{1,2}, Katia Capellini¹, Emanuele Gasparotti¹, Giuseppe Spinelli³, Vincenzo Positano¹ and Simona Celi¹

¹ BioCardioLab, Bioengineering Unit, Fondazione Toscana G. Monasterio, 54100 Massa, Italy;

² Department of Information Engineering, University of Pisa, 56122 Pisa, Italy

³ Maxillofacial Surgery Department, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, 50134 Firenze, Italy;

Introduction – Image registration has become a crucial technique in clinical practice, particularly for integrating pre- and post-operative information [1-2]. In this study, we present a landmarks-based image registration approach focusing on tumor affected jaw reconstruction from computed tomography (CT) images using 3D Slicer.

Methods – First, the jaw and associated tumor tissue were segmented (Fig 1, a,b,c). Then, a mirroring operation was performed considering the safe side of jaw in the CT dataset to generate the missing side of the jaw. Finally, a local deformation using landmark registration compensated for anatomical asymmetry and misalignment.

Results – The initial mirroring operation led to noticeable misalignment (Fig 1, d) that was corrected by the landmark registration module, successfully targeting the correct anatomy (Fig 1, e). The result showed accurate 3D reconstructions within a mean linear difference of 2 mm, as reported in literature [3].

Discussion – This work showed the feasibility of using 3D Slicer tools in clinical scenarios such as jaw damaged reconstruction, improving reconstruction accuracy and applicability in cases where damage is restricted to one side of the jaw.

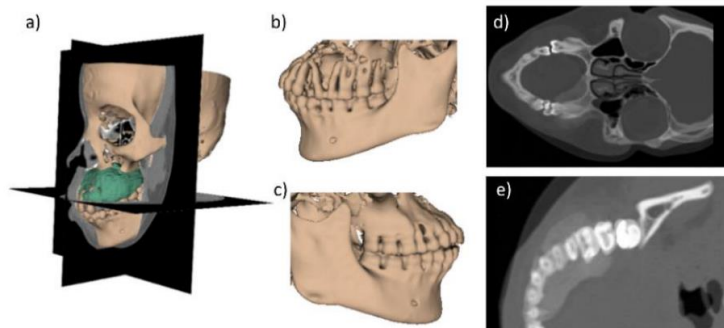


Fig. 1. Segmentations of jaw and tumor (a), detail of reconstructed jaw sides: affected by tumor (b) and safe (c), overlapping of original and mirrored data (d), final result after mirroring and registration (e).

References

1. Dhawan, A.P.: Rigid and non-rigid medical image registration methods. *Int. J. Biomed. Eng. Technol.* 8, 200–219, (2012).
2. Masoumi, N.: Multimodal 3D ultrasound and CT in image-guided spinal surgery: public database and new registration algorithms. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.*, 16, 555–565 (2021).
3. Ritto, F.: Comparison of the accuracy of maxillary position between conventional model surgery and virtual surgical planning. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.*, 47, 160–166 (2018).

Acknowledgements

This study is part of the PRECISE (Personalised and pREdictive Surgical Simulation for preCIse tumor reSEction) project funded by Tuscany Region (BANDO RICERCA SALUTE 2018). CUP Code - B14I20001160005, Objective Code - 2020075.



IV Congresso Nazionale IDBN – Italian Digital Biomanufacturing Network
26–27 Settembre 2024, Firenze, Italia

The European Special Interest Group for 3D Technologies and Printing in Hospitals

Francesco Moscato^{1,2,3}

¹ Center for Medical Physics and Biomedical Engineering, Medical University of Vienna, Austria;

² Ludwig Boltzmann Institute for Cardiovascular Research, Vienna, Austria;

³ Austrian Cluster for Tissue Regeneration, Vienna, Austria;

Introduction – The European medical 3D landscape is dynamic, with numerous initiatives emerging and flourishing in every country across the continent. However, these national efforts often operate in parallel, with limited opportunities for exchange at the European level. While Europe is rich in diversity, we face shared challenges in the research, development, and implementation of medical 3D technologies and printing.

Methods – The European Special Interest Group for 3D Technologies and Printing in Hospitals (EU3DSIG) was established to address these common challenges [1]. This presentation will provide an overview of EU3DSIG activities, specifically focusing on mapping the European 3D community, raising awareness of the potential and benefits of 3D technologies, standardizing education and training, and tackling regulatory and reimbursement challenges.

Results – To achieve its goals, EU3DSIG (Fig. 1) is actively promoting participation in national events and working towards organizing a European Conference for 3D Technologies in Hospitals. It is also seeking partnerships for joint efforts such as meta-analyses, systematic reviews, registries, multicenter studies, and the development of best-practice guidelines. Additionally, EU3DSIG is supporting the creation of a semester-long university course for medical doctors and engineers, with plans for student exchange programs. The group is also gathering information on regulatory pathways across different countries to create guidelines aimed at simplifying regulatory compliance.

Discussion – This presentation aims to strengthen collaboration between the Italian medical 3D community and the broader European landscape.



Fig. 1. The EU3DSIG at a workshop held on April 19 2024 in Leuven (Belgium).

References

1. Biglino, G., Hopfner, C., Lindhardt, J., Moscato, F. et al. Perspectives on medical 3D printing at the point-of-care from the new European 3D Printing Special Interest Group. *3D Print Med* 9, 14 (2023).

Acknowledgements

The EU3DSIG core group and all participants to our previous meetings & workshops.



IV Congresso Nazionale IDBN – Italian Digital Biomanufacturing Network
26-27 Settembre 2024, Firenze, Italia

3D Printing for Surgical Cardiac Support

Bernardo Innocenti¹, Carlo De Asmundis²

¹ BEAMS Department (Bio Electro and Mechanical Systems), Université Libre de Bruxelles, Belgium

²Cardiac Surgery Department, Universitair Ziekenhuis Brussel–Vrije Universiteit Brussel, Belgium

Introduzione – Questo studio verte lo sviluppo, ottimizzazione e produzione di un sistema di guide chirurgiche personalizzate stampate in 3D per il trattamento della stenosi coronarica e delle cicatrici ischemiche (Figura 1), con l'obiettivo di ridurre i tempi chirurgici e migliorare il trattamento del paziente [1-5].

Metodi – La realizzazione di tali guide chirurgiche è stata sviluppata valutando in maniera trasversale i diversi aspetti che portano dall'idea iniziale al prodotto finale. In dettaglio, è stata effettuata un'accurata localizzazione dell'area patologica, identificando punti di riferimento anatomici cardiaci che consentono di progettare il modello geometrico della guida; un'ottimizzazione della procedura di segmentazione delle immagini del paziente, integrandola con dati elettrofisiologici per delimitare le zone critiche; e l'identificazione del materiale di stampa compatibile con le esigenze cliniche, sia pre- che intra-chirurgiche. Sono stati inoltre condotti test clinici su animali e test di produzione.

Risultati – È stata sviluppata una procedura di ricostruzione 3D semi-automatica, basata su dati TAC e/o CRM (Risonanza Magnetica Cardiaca) e coronarografia, comprensiva di segmentazione e identificazione delle zone patologiche, che consente la realizzazione delle guide in tempi ragionevoli (entro 48 ore dalla ricezione delle immagini) [1-3]. Analisi meccaniche di flessibilità, biocompatibilità con il miocardio, resistenza termica e abrasiva, conduttività e sterilizzazione, hanno portato alla selezione del materiale più idoneo. Ad esempio, test geometrici e termici hanno dimostrato che la sterilizzazione VHP non influenza né la struttura geometrica (circa un millimetro) né le proprietà meccaniche [4-5]. I test clinici su animali hanno confermato la corretta identificazione e trattamento della lesione, seguendo il perimetro della guida con tolleranze inferiori al millimetro, ritenute accettabili.

Discussione – In conclusione, i risultati del lavoro indicano che la guida chirurgica cardiaca stampata 3D è un dispositivo affidabile che contribuisce a un trattamento più preciso e rapido della stenosi coronarica e delle cicatrici ischemiche post-infarto.

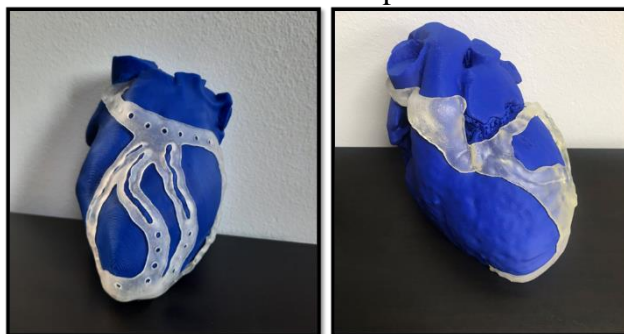


Fig. 1. Prototipo fisico delle guide chirurgiche cardiache: a sinistra, guida per la stenosi coronarica, a destra la guida per il trattamento delle cicatrici ischemiche.

Riferimenti

1. Candelari et al.: 2022 *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 1029816;
2. Talevi et al., 2022 *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 1029685;
3. Cappello et al, 2022, *Bioengineering*, 9(5), 179;
4. Candelari et al, 2023, *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 1036
5. Monaco et al, 2024, *Biomedicines*, 12(4), 869.



Nuove frontiere per la rinopoiesi pediatrica: impiego degli indici antropometrici nel planning preoperatorio e analisi comparativa con caso reale di ricostruzione 3D-aided

Flavio Facchini¹, Yary Volpe²

¹ Azienda Ospedaliera Universitaria Meyer – IRCCS

²Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italia

Introduzione – La creazione di un database relativo agli indici antropometrici della piramide nasale nei pazienti pediatrici, considerando la variabilità correlata al sesso ed all'età, rappresenta un supporto fondamentale nel planning preoperatorio e nella pianificazione delle strutture da ricostruire durante la rinopoiesi. L'utilizzo di strumentazioni avanzate per la scansione e la stampa 3D offre nuove opportunità per migliorare la precisione e la personalizzazione degli interventi ricostruttivi.

Metodi – È stato sviluppato un database di indici antropometrici della piramide nasale in pazienti pediatrici, tenendo conto delle variazioni legate a sesso ed età. Sono state utilizzate tecnologie di scansione e stampa 3D per creare modelli per esercitazioni preoperatorie e la produzione di protesi e innesti personalizzati. È stato inoltre elaborato un modello ingegneristico per analizzare i nodi di tensione e di unione tra i frammenti cartilaginei, ottimizzando dimensioni e risultati morfologici e strutturali.

Risultati – L'implementazione del database e dell' algoritmo di calcolo ha permesso di progettare interventi di ricostruzione nasale pediatrica anche in assenza di un modello fisico di riferimento. È stato possibile calcolare le dimensioni esteticamente ideali dei tessuti molli e quelle strutturalmente adeguate dei tessuti di sostegno, ottimizzando la distribuzione delle tensioni tissutali. La creazione di modelli 3D ha facilitato le esercitazioni preoperatorie e la personalizzazione degli interventi (Fig. 1).

Discussione – Questa innovativa metodologia non solo offre benefici in termini medici, come il ripristino della fisiologia e la riduzione delle complicanze, ma impatta significativamente anche su diversi aspetti psicologici e sociali. La possibilità di realizzare ricostruzioni più fedeli alla fisionomia del singolo paziente e strutturalmente più valide rappresenta un importante passo avanti nella chirurgia ricostruttiva pediatrica. L'approccio descritto apre nuove prospettive per interventi sempre più personalizzati e efficaci, migliorando potenzialmente la qualità di vita dei giovani pazienti.

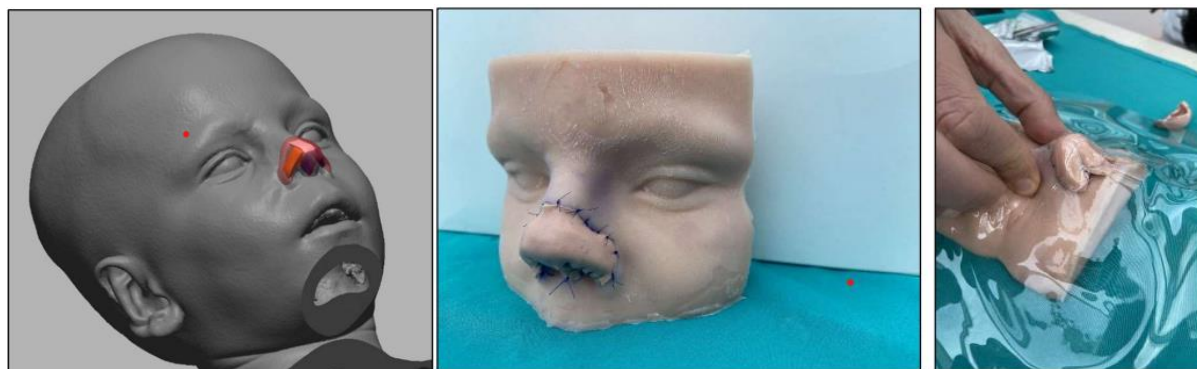


Fig. 1. Prototipo fisico delle guide chirurgiche cardiache: a sinistra, guida per la stenosi coronarica, a destra la guida per il trattamento delle cicatrici ischemiche.

