

AZIENDA ULSS N. 8 BERICA

Viale F. Rodolfi n. 37 – 36100 VICENZA

REGIONE DEL VENETO



DELIBERAZIONE

N. 494 DEL 24/03/2022

OGGETTO

SVILUPPI DELLA TECNOLOGIA 3D IN AMBITO CLINICO-CHIRURGICO: UN SUPPORTO AD AMPIO SPETTRO DALLA PIANIFICAZIONE DELL'INTERVENTO AL TRAINING CHIRURGICO. APPROVAZIONE PROGETTO.

Proponente: DIREZIONE AMMINISTRATIVA DI OSPEDALE DAO

Anno Proposta: 2022

Numero Proposta: 529/22

Il Direttore della U.O.C. Direzione Amministrativa di Ospedale riferisce che:

La tecnologia 3D, detta anche “prototipazione rapida”, è una tecnologia additiva che permette di realizzare un oggetto fisico tridimensionale partendo direttamente da un modello digitale 3D.

Nel settore sanitario, in particolare, la tecnologia 3D è in rapida espansione, consentendo la realizzazione di modelli anatomici tridimensionali, utilizzando i dati reali di ogni singolo paziente sulla base di esami diagnostici come la Tomografia Assiale Computerizzata (TAC), la Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) e l’Ecografia (ECO), supportando lo specialista e la sua equipe nella personalizzazione dell’intervento.

Attraverso la stampa 3D è possibile ottenere una migliore analisi e comprensione clinica della patologia, il perfezionamento dell’approccio terapeutico, l’ottimizzazione del *planning* preoperatorio, la formazione degli specialisti e il *training* chirurgico, oltre che offrire al paziente elementi tangibili per la comprensione della propria malattia e dell’eventuale procedura chirurgica proposta favorendo una migliore comunicazione medico/paziente ai fini del rilascio e raccolta del consenso informato.

Da circa due anni l’Azienda U.L.SS. 8 Berica ha avviato il progetto “*Stampa 3D e Chirurgia*” che ha permesso la realizzazione di n. 60 prototipi relativi a complesse patologie, per diverse specialità, a scopo didattico/formativo e di comunicazione/acquisizione del consenso informato con risultati promettenti, affidabili, efficaci e riproducibili.

Visti il progetto e il percorso operativo elaborati, alla luce dei risultati ottenuti e della valutazione positiva dell’esperienza sinora maturata, si propone l’approvazione dell’ulteriore fase progettuale “*Sviluppi della tecnologia 3D in ambito clinico – chirurgico: un supporto ad ampio spettro dalla pianificazione dell’intervento al training chirurgico*” nei termini e contenuti di cui al documento allegato alla presente deliberazione di cui costituisce parte integrante e sostanziale.

In sintesi, lo sviluppo del progetto succitato prevede:

- l’espansione delle soluzioni innovative legate alla tecnica 3D;
- la predisposizione di protocolli/*set* di criteri utili per individuare i principali ambiti/specialità e le tipologie di interventi eleggibili dagli approfondimenti con la tecnica 3D;
- la creazione di simulatori chirurgici per la formazione/training di giovani medici;
- l’incremento dell’utilizzo di prototipi 3D “*patient specific*” per facilitare la comunicazione medico-paziente e migliorare la comprensione necessaria alla raccolta del consenso informato;
- la standardizzazione delle pratiche amministrative per la fornitura di dispositivi medici certificati “*patient specific*”.

Per il raggiungimento degli obiettivi, come sopra delineati, si propone l’istituzione di un *Team* di progetto, costituito da professionisti afferenti ad alcune delle U.O. partecipanti al progetto con il ruolo primario di coordinare le attività relative allo sviluppo della tecnica 3D e offrire supporto a tutte le specialità cliniche/chirurgiche/interventistiche aziendali che hanno aderito al progetto o che ne facciano formale richiesta e come di seguito individuato:

Team di progetto:

- dr. Paolo Magagna – Cardiochirurgia – Responsabile del progetto
- dr. Federico Apolloni – Chirurgia Maxillo Facciale

- dr. Romel Mani – Cardiochirurgia
- dr.ssa Marina Silvestrini – Otorinolaringoiatria
- dr.ssa Elisa Zolpi – Chirurgia Pediatrica
- dr. Jacopo Dall’Acqua – Radiologia
- dr. Graziano Meneghini – Chirurgia Senologica (*Breast Unit*)

Inoltre, per lo sviluppo del progetto e il raggiungimento degli obiettivi prefissati, l’Azienda si riserva la facoltà di ricorrere, ove ritenuto necessario e opportuno, alla collaborazione di enti pubblici e privati esterni, in un’ottica di reciproca collaborazione al progetto che avverrà attraverso l’utilizzo di percorsi aziendali in essere e già definiti e nel rispetto delle disposizioni normative vigenti in materia.

Si precisa infine che il Responsabile del progetto, ad un anno dall’approvazione della presente e successivamente, con cadenza annuale, redigerà una relazione relativamente alle Unità Operative coinvolte, ai protocolli individuati e all’attività svolta, con particolare riferimento ai risultati in termini di efficacia comparativa (utilizzo vs. non utilizzo) e di efficacia e efficienza organizzativa (costi cessanti e sorgenti, compresi i tempi di pianificazione e realizzazione degli interventi) dell’introduzione della tecnica 3D nei diversi ambiti/specialità di intervento.

In ragione di quanto sopra esposto, si propone di approvare il progetto “*Sviluppi della tecnologia 3D in ambito clinico – chirurgico: un supporto ad ampio spettro dalla pianificazione dell’intervento al training chirurgico*” nei termini descritti nel documento allegato alla presente deliberazione quale sua parte integrante e sostanziale.

Il medesimo Direttore ha attestato l’avvenuta regolare istruttoria della pratica anche in relazione alla sua compatibilità con la vigente legislazione regionale e statale in materia.

I Direttori Amministrativo, Sanitario e dei Servizi Socio-Sanitari hanno espresso il parere favorevole per quanto di rispettiva competenza.

Sulla base di quanto sopra

IL DIRETTORE GENERALE

DELIBERA

1. di richiamare integralmente le premesse narrative quali parti integranti e sostanziali della presente deliberazione;
2. di approvare il progetto “*Sviluppi della tecnologia 3D in ambito clinico – chirurgico: un supporto ad ampio spettro dalla pianificazione dell’intervento al training chirurgico*” nei termini ed alle condizioni precisate nel documento che si allega alla presente deliberazione quale sua parte integrante e sostanziale (All. 1);
3. di istituire un *Team* di progetto con il ruolo primario di offrire supporto a tutte le U.O.C. partecipanti al progetto o che facciano richiesta di adesione allo stesso e come di seguito individuato:
Team di progetto:

- dr. Paolo Magagna – Cardiocirurgia – Responsabile del progetto
 - dr. Federico Apolloni – Chirurgia Maxillo Facciale
 - dr. Romel Mani – Cardiocirurgia
 - dr.ssa Marina Silvestrini – Otorinolaringoiatria
 - dr.ssa Elisa Zolpi – Chirurgia Pediatrica
 - dr. Jacopo Dall’Acqua – Radiologia
 - dr. Graziano Meneghini – Chirurgia Senologica (*Breast Unit*)
4. di incaricare il Responsabile del progetto di redigere, ad un anno dall’approvazione della presente e successivamente, con cadenza annuale, una relazione sull’attività svolta, sui risultati conseguiti e sull’efficacia ed efficienza anche organizzativa;
5. di pubblicare la presente all’Albo dell’Ente e nel sito internet aziendale alla pagina “Amministrazione Trasparente” ai sensi del D.Lgs. n. 33 del 14 marzo 2013.

Parere favorevole, per quanto di competenza:

Il Direttore Amministrativo
(dr. Fabrizio Garbin)

Il Direttore Sanitario
(per il dr. Salvatore Barra – dr.ssa Romina Cazzaro)

Il Direttore dei Servizi Socio-Sanitari
(dr. Achille Di Falco)

IL DIRETTORE GENERALE
(Maria Giuseppina Bonavina)

Copia del presente atto viene inviato al Collegio Sindacale al momento della pubblicazione.

IL DIRETTORE
UOC AFFARI GENERALI

PROGETTO

SVILUPPI DELLA TECNOLOGIA 3D IN AMBITO CLINICO-CHIRURGICO: UN SUPPORTO AD AMPIO SPETTRO DALLA PIANIFICAZIONE DELL'INTERVENTO AL *TRAINING* CHIRURGICO

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza eleva il tema della digitalizzazione e dell'innovazione tra gli assi strategici portanti per il rilancio della competitività e della produttività del Sistema Paese ed in tal senso investe trasversalmente tutte le missioni del Piano.

Nello specifico della sanità, settore ad alta valenza tecnologica ed aperto alle spinte innovative, la digitalizzazione coinvolge molteplici ambiti, tra i quali quello dei dispositivi medici e lo sviluppo delle competenze professionali, al fine di garantire il miglioramento continuo nei livelli assistenziali.

Il progetto nel prevedere l'introduzione della tecnologia 3D comporta una innovazione nella clinica-chirurgica e, in stretta correlazione, sul piano organizzativo attraverso un ulteriore arricchimento e qualificazione dei livelli di competenza dei medici chirurghi, dei radiologi e delle relative *equipe*.

Sviluppi della tecnologia 3D in ambito clinico-chirurgico

La tecnica 3D nella ricostruzione personalizzata delle patologie nei vari distretti anatomici

Hod Lipson e Melba Kurman (2013) affermano, a riguardo della stampa tridimensionale (tecnica 3D) che: *“Alcune volte, disegni digitali che appaiono stupendi sullo schermo di un computer possono letteralmente collassare quando, nel momento della stampa, subiscono le leggi fisiche reali”*.

La tecnologia 3D in medicina è una realtà. I possibili sviluppi che da essa ne possono derivare sono molteplici: dal *bioprinting*, alla realtà aumentata/virtuale/mixata, all'*additive manufacturing patient specific*, lungo percorsi sempre più attuali di medicina personalizzata.

La realizzazione di modelli anatomici tridimensionali, utilizzando i dati reali di ogni singolo paziente sulla base di esami diagnostici come la Tomografia Assiale Computerizzata (TAC), la Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) e l'Ecografia (ECO), supporta lo specialista e la sua *equipe* nella personalizzazione dell'intervento ottenendo:

- una migliore analisi e comprensione clinica della patologia/lesione corporea: posizione ed estensione del segmento coinvolto dalle lesioni;
- il perfezionamento dell'approccio terapeutico, permettendo di affrontare scenari clinici/chirurgici sempre più complessi;
- l'ottimizzazione del *planning* preoperatorio: accessi e spazi di manovra.

La tecnica 3D nella formazione/*training* chirurgico

Un ruolo importante della tecnologia 3D lo si riconosce, anche nella formazione di specialisti e *training* chirurgico, potendo fornire un'ampia varietà di esempi anatomici normali o patologici, che solitamente non sarebbero disponibili.

La tecnica 3D nel rapporto con il paziente: comunicazione e consenso informato

Un modello fisico, e non un generico ed impersonale video o immagine, offre al paziente un elemento in più per poter meglio comprendere la propria malattia e l'eventuale procedura chirurgica proposta, rendendo più comprensibile e facile la raccolta del consenso informato.

La tecnica 3D: ambiti di applicazione

Le specialità chirurgiche che in letteratura hanno evidenziato ambiti di applicazione di questa tecnologia sono principalmente: chirurgia maxillo-facciale, otorinolaringoiatria, chirurgia pediatrica, ortopedia, chirurgia generale, neurochirurgia, chirurgia vascolare, cardiocirurgia, neuroradiologia interventistica e radiologia interventistica.

Occorre, inoltre, evidenziare, in un'ottica di crescita delle competenze, il contributo di rilievo che viene ad assumere il medico radiologo nella scelta delle immagini con maggiore valenza anatomica.

Il progetto: obiettivi, modalità organizzative, collaborazioni esterne

I risultati della prima fase di introduzione della tecnica 3D nell'Azienda U.L.SS. 8

L'Azienda U.L.SS. 8 Berica ha avviato, da circa 2 anni, il progetto: “Stampa 3D e Chirurgia” la cui operatività ha permesso:

- la stampa di 60 prototipi di complesse patologie per diverse specialità;
 - la creazione di un simulatore chirurgico per la realizzazione di fistole arterovenose per emodialisi;
 - la progettazione, la creazione e l'impianto di uno *stent* esterno venoso per un ragazzo di 14 anni.
- Tiriamo via

Il percorso operativo elaborato, il *team work* creatosi ed i risultati ottenuti si sono dimostrati affidabili ed efficaci ed i risultati ottenuti promettenti e riproducibili come evidenziato nelle pubblicazioni condotte (Magagna P. et al. *3D printing to manage postinfarct ventricular septal defect*. J. Card. Surg. 2021; Barbati G. et al. *Multi modality imaging of post myocardial infarction ventricular septal defect associated to basal inferoseptal pseudoaneurysm*. Journal of Echocardiography 2021; Magagna P. et al. *Interdisciplinary Project: “3D Printing” and Aortic Disease*. Journal of MAR Cardiology 2021).

Ambiti di sviluppo della tecnica 3D nell'Azienda U.L.SS. 8

Alla luce dei risultati evidenziati, l'Azienda U.L.SS. 8 intende estendere il progetto ad altre Unità Operative che possono trarre beneficio in termini di miglioramento delle specifiche prassi diagnostiche, terapeutiche e assistenziali al fine di consolidare quanto finora acquisito sul piano della crescita professionale prevalentemente in ambito cardiocirurgico, in un'ottica di integrazione, di sviluppo e di messa a sistema.

Obiettivi del progetto

- Incrementare la presenza di soluzioni innovative legate alla tecnica 3D, all'*additive manufacturing patient specific*, come la realtà aumentata/virtuale/mixata, permettendo ad un maggior numero di specialisti di affrontare al meglio patologie sempre più complesse e offrendo a sempre più pazienti un percorso diagnostico-terapeutico-assistenziale personalizzato e mirato;

- predisporre protocolli/set per individuare i principali ambiti/specialità e le tipologie di interventi eleggibili agli approfondimenti con la tecnica 3D, utilizzando percorsi aziendali già definiti e ottimizzando l'uso delle risorse;
- provvedere alla creazione di simulatori chirurgici per la formazione/*training* di giovani medici con la possibilità di utilizzare materiali che “ricordano” le proprietà dei tessuti del corpo umano;
- incrementare l'utilizzo di prototipi 3D “*patient specific*”, per far comprendere meglio al paziente la propria patologia e l'eventuale procedura chirurgica proposta, rendendo più comprensibile e facile la raccolta del consenso informato;
- standardizzare a livello aziendale le pratiche amministrative, per la fornitura di dispositivi medici certificati “*patient specific*” e che rispondano alle prescrizioni del Regolamento Europeo 2017/745.

Monitoraggio del progetto

Il progetto verrà sottoposto a monitoraggio: ad un anno dall'approvazione della presente e successivamente, con cadenza annuale, il Responsabile del progetto redigerà una relazione relativamente alle Unità Operative coinvolte, ai protocolli individuati e all'attività svolta, con particolare riferimento ai risultati in termini di efficacia comparativa (utilizzo vs. non utilizzo) e di efficacia ed efficienza organizzativa (costi cessanti e sorgenti, compresi i tempi di pianificazione e realizzazione degli interventi) dell'introduzione della tecnica 3D nei diversi ambiti/specialità di intervento.

Modalità organizzative per l'operatività del progetto

Il progetto prevede, l'individuazione di un *team* di professionisti a cui affidare il compito primario di coordinare le attività relative allo sviluppo della tecnica 3D nell'Azienda U.L.S.S. 8 e offrire un supporto, costante e quotidiano, a tutte le specialità cliniche/chirurgiche/interventistiche che hanno aderito al progetto o che ne facciano formale richiesta. Il *team* di progetto, come di seguito individuato, viene, di volta in volta integrato con i vari professionisti interessati alle applicazioni della tecnica 3D negli specifici ambiti di intervento.

Team di progetto

- dr. Paolo Magagna – Cardiochirurgia – Responsabile del progetto
- dr. Federico Appoloni – Chirurgia Maxillo Facciale
- dr. Romel Mani – Cardiochirurgia
- dr.ssa Marina Silvestrini – Otorinolaringoiatria
- dr.ssa Elisa Zolpi – Chirurgia Pediatrica
- dr. Jacopo Dall'Acqua – Radiologia
- dr. Graziano Meneghini – Chirurgia Senologica (*Breast Unit*)

UOC partecipanti

- Cardiochirurgia
- Cardiologia
- Chirurgia Generale
- Chirurgia Maxillo Facciale
- Chirurgia Pediatrica
- Chirurgia Plastica
- Chirurgia Senologica

- Chirurgia Vascolare
- Nefrologia
- Neurochirurgia
- Neuroradiologia
- Oculistica
- Ortopedia
- Otorinolaringoiatria
- Pediatria
- Radiologia - Radiologia Interventistica
- Radioterapia
- Urologia

Collaborazioni esterne

Il progetto, in considerazione della sua valenza innovativa, si propone di valutare ogni possibile rete di collaborazioni sinergiche con enti pubblici e privati esterni al fine di acquisire ogni utile competenza scientifica e tecnica, anche nella prospettiva di affrontare correttamente le problematiche connesse alla certificazione di modelli/percorsi nel quadro delineato dalla Regolamentazione europea vigente in materia. In particolare, tenuto conto delle collaborazioni già sperimentate, si indicano, a titolo esemplificativo e non esaustivo, i seguenti enti:

- Scuole/Cliniche/Dipartimenti universitari;
- Fondazione IRRIV (*International Renal Research Institute* Vicenza);
- Fondazione San Bortolo onlus di Vicenza;
- Operatori economici radicati nel territorio vicentino e non appartenenti al settore medicale.

Si tratta di collaborazioni e partecipazioni al progetto che si concretizzano in contributi economici dedicati o condividendo a titolo gratuito laboratori di ricerca, spazi, personale ingegneristico, strumentario, *know-how*.

Disposizioni finali

La conduzione del progetto, che potrà avvenire anche con le collaborazioni e gli apporti (donazioni economiche e strumentali e condivisione di *know-how*) di cui al punto precedente, si svolgerà nel rispetto delle disposizioni legislative vigenti in materia ed in particolare tutte le attività che dovessero rientrare nell'ambito della sperimentazione clinica verranno sottoposte al parere del competente Comitato Etico.

Infine, qualora le stesse collaborazioni comportassero lo scambio di dati personali, anche sensibili, questi ultimi verranno trattati nei limiti strettamente necessari allo svolgimento delle attività specifiche e nel rispetto delle disposizioni di cui al D.lgs. n. 196 del 30/6/2003 e del Regolamento Europeo (GDPR) n. 2016/679 in materia di *privacy*.

Bibliografia

- 3D printing to manage postinfarct ventricular septal defect. Magagna P, Caprioglio F, Gallo M, Salvador L. *J Card Surg.* 2021 Nov 16. doi: 10.1111/jocs.16130. PMID: 34786767
- Multi-modality imaging of post-myocardial infarction ventricular septal defect associated to basal inferoseptal pseudoaneurysm. Giovanni Barbati, Giovanna Erente, Paolo Magagna, Luca Spigolon, Francesco Caprioglio. *Journal of Echocardiography.* 15 September 2021. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12574-021-00551-8>
- Interdisciplinary Project: “3D Printing” and Aortic Disease. Paolo Magagna, Andrea Xodo, Loris Salvador, Carlo Campana, Luciano Ghiotto, Leonardo Costa, Michele Gallo, Daniele Zoni, Franco Grego. *Journal of MAR Cardiology.* Volume 2 Issue 5 May 2021. <https://www.medicalandresearch.com/currentissue/Journal-of-MAR-Cardiology>
- (IF: 2.430, ISSN 1648-9144) Special Issue “Aortic Arch Treatment: From Surgical Replacement to Endovascular Repair”. Paolo Magagna, Michele Gallo, Loris Salvador (work in progress)
- Primary Management in General, Vascular and Thoracic Surgery. Acute aortic syndromes and thoracic aortic aneurysms: from diagnosis to treatment. Andrea Xodo, Andrea Gallo, Paolo Magagna and Mario D’Oria (work in progress)
- Severe aortic valve regurgitation and pseudo-aneurysm in aortic valve-sparing operation: the usefulness of multimodality imaging in a complex clinical scenario. Leonardo Varotto, Luca Spigolon, Alberto Dotto, Valentina Siviero, Marta Scodro, Ester Cabianca, Paolo Magagna e Francesco Caprioglio. *Frontiers in Cardiovascular Medicine, section Structural Interventional Cardiology.* 02 Jun 2021
- *Fabricated: The New World of 3D Printing* by Hod Lipson Melba Kurman (2013-02-11) ISBN 978-1-118-35063-85795
- Tuncay, V. & Van Ooijen, P.M.A. *Eur Radiol Exp* (2019) 3:9 <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0083-0>
- Giannopoulos AA, Mitsouras D, Yoo SJ, Liu PP, Chatzizisis YS, Rybicki FJ (2016) *Applications of 3D printing in cardiovascular diseases.* *Nat Rev Cardiol* 13:701–718
- Mankovich NJ, Cheeseman AM, Stoker NG. *The display of threedimensional anatomy with stereolithographic models.* *J Digit Imaging.* 1990;3:200–203
- M. S Kim, A. R. Hansgen, O. Wink, R. Quafife, J. D. Carroll. *Rapid Prototyping; a new tool understanding and treatment structural heart disease.* *Circulation.* 2008; 117: 2388-2394
- D’Urso PS, Barker TM, Earwaker WJ, Bruce LJ, Atkinson RL, Lanigan MW, Arvier JF, Effenev DJ. *Stereolithographic biomodelling in craniomaxillofacial surgery: a prospective trial.* *J Craniomaxillofac Surg.* 1999; 27:30–37
- Sailer HF, Haers PE, Zollikofer CP, Warnke T, Carls FR, Stucki P. *The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections.* *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1998;27:327–333
- Heissler E, Fischer FS, Bolouri S, Lehmann T, Mathar W, Gebhardt A, Lanksch W, Bier J. *Custom-made cast titanium implants produced with CAD/CAM for the reconstruction of cranium defects.* *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1998;27:334–338
- Winder J, Bibb R. *Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery.* *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63:1006–1015
- Minns RJ, Bibb R, Banks R, Sutton RA. *The use of a reconstructed three-dimensional solid model from CT to aid the surgical management of a total knee arthroplasty: a case study.* *Med Eng Phys.* 2003;25:523–526
- Munjal S, Leopold SS, Kornreich D, Shott S, Finn HA. *CT-generated 3-dimensional models for complex acetabular reconstruction.* *J Arthroplasty.* 2000;15:644–653

- D’Urso PS, Thompson RG, Atkinson RL, Weidmann MJ, Redmond MJ, Hall BI, Jeavons SJ, Benson MD, Earwaker WJ. *Cerebrovascular biomodelling: a technical note. Surg Neurol.* 1999;52:490–500
- Carmi D, Zegdi R, Grebe R, Fabiani JN. *Three-dimensional modelling of thoracic aortic aneurysm: a case report [in French]. Arch Mal Coeur Vaiss.* 2001;94:277–281
- Knox K, Kerber CW, Singel SA, Bailey MJ, Imbesi SG. *Stereolithographic vascular replicas from CT scans: choosing treatment strategies, teaching, and research from live patient scan data. AJNR Am J Neuroradiol.* 2005;26:1428–1431
- Cook AC, Fagg NL, Allan LD. *Use of casts in the necropsy diagnosis of fetal congenital heart disease. Br Heart J.* 1992;68:481–484
- Kilner PJ, Ho SY, Anderson RH. *Cardiovascular cavities cast in silicone rubber as an adjunct to post-mortem examination of the heart. Int J Cardiol.* 1989;22:99–107
- Noecker AM, Chen JF, Zhou Q, White RD, Kocpak MW, Arruda MJ, Duncan BW. *Development of patient-specific three-dimensional pediatric cardiac models. ASAIO J.* 2006;52:349–353
- Schievano S, Migliavacca F, Coats L, Khambadkone S, Carminati M, Wilson N, Deanfield JE, Bonhoeffer P, Taylor AM. *Percutaneous pulmonary valve implantation based on rapid prototyping of right ventricular outflow tract and pulmonary trunk from MR data. Radiology.* 2007;242: 490–497
- Sodian R, Loebe M, Hein A, Martin DP, Hoerstrup SP, Potapov EV, Hausmann H, Lueth T, Hetzer R. *Application of stereolithography for scaffold fabrication for tissue engineered heart valves. ASAIO J.* 2002; 48:12–16
- Ngan EM, Rebeyka IM, Ross DB, Hirji M, Wolfaardt JF, Seelaus R, Grosvenor A, Noga ML. *The rapid prototyping of anatomic models in pulmonary atresia. J Thorac Cardiovasc Surg.* 2006;132:264–269
- Sodian R, Weber S, Markert M, Rassouljian D, Kaczmarek I, Lueth TC, Reichart B, Daebritz S. *Stereolithographic models for surgical planning in congenital heart surgery. Ann Thorac Surg.* 2007;83:1854–1857
- *Three-Dimensional Printing of a Complex Aortic Anomaly.* Sun X, Zhu K, Zhang W, Zhang H, Hu F, Wang C.
- *J Vis Exp.* 2018 Nov 1;(141). doi: 10.3791/58175
- *Sustained local delivery of high-concentration vancomycin from a hybrid biodegradable, antibiotic-eluting, nanofiber-loaded endovascular prosthesis for treatment of mycotic aortic aneurysms.* Liu KS, Lee CH, Lee D, Liu M, Tsai FC, Tseng YY. *J Vasc Surg.* 2018 Aug;68(2): 597-606. doi: 10.1016/j.jvs.2017.07.142. Epub 2017 Oct 21
- *Detecting Regional Stiffness Changes in Aortic Aneurysmal Geometries Using Pressure-Normalized Strain.* Mix DS, Yang L, Johnson CC, Couper N, Zarras B, Arabadjis I, Trakimas LE, Stoner MC, Day SW, Richards MS. *Ultrasound Med Biol.* 2017 Oct;43(10):2372-2394. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2017.06.002. Epub 2017 Jul 17