

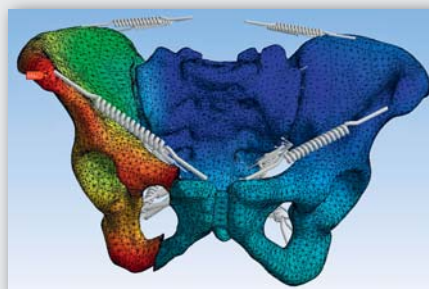
L. Wolter, A. Volf, L. Bonitz, M. Eblenkamp, E. Wintermantel

**Simulation der forcierten Gaumennahterweiterung
mittels FEM**

Leseprobe

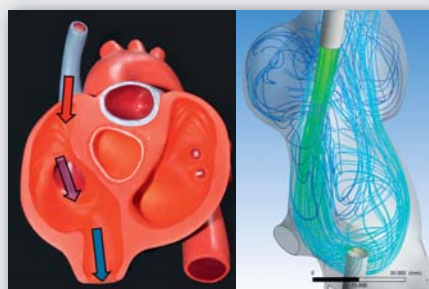
*P. Pieroh, A. Nolte, S. Kurz, D. Schreiber,
C. Josten, J. Böhme*

**Finite-Elemente-Berechnungen
in der Beckenchirurgie**



*M. Bongert, M. Geller, J. Strauch, D. Buchwald,
V. Nicolas, U. Aschenbrenner*

**Strömungssituation
bei einer ECMO (extrakorporale
Membranoxigenation)**



Editorial

5 Jahre **CAME**: Simulation in der Medizin und Biomechanik

Erstmals präsentiert wurde die **came**-Zeitschrift im Frühjahr 2010 auf der Veranstaltung „Vom Automobil zum Patienten. Technologie und Medizin finden zusammen“, die im Rahmen der Reihe „Deutschland – Land der Ideen“ durchgeführt wurde. **came** steht für

Computer Aided Medical Engineering und beschäftigt sich mit dem Transfer der Simulationstechnologie raus aus den klassischen ingenieurtechnischen Fragestellungen hin zu den medizinischen Anwendungen.

Die **came**-Zeitschrift ist Teil unserer **came**-Initiative. Diese bietet eine Plattform, um Vertrauen, Akzeptanz

und marktfähige Anwendungen für die numerischen Simulationstechnologien in dem neuen, vielversprechenden Anwendungsgebiet der Medizin zu schaffen.

Das Ansinnen der **came**-Zeitschrift ist es, das Potential der CAE-Simulation für medizinische Fragestellungen aufzuzeigen. Wir akquirieren daher Beiträge aus dem Forschungsumfeld, die nach unserer Meinung interessante Ansätze für spätere Anwendungen haben, z. B. für eine Operationsplanung. Ebenso zeigen wir für die Medizintechnik-Industrie neue Ansätze auf, wie die numerische Simulation helfen kann, Produkte zu verbessern, die mit dem menschlichen Körper interagieren. Dass nicht nur wir die Vorteile der Simulation in der Medizin sehen, sondern der Simulation auch von anderer Seite ein großes Potential zugesprochen wird, unter anderem für die FDA-Zulassung medizinischer Produkte, beschreibt z. B. der Kurzbeitrag auf Seite 8 und 9.

Auch unsere **came**-Konferenz ist ein Teil der **came**-Initiative. Die **came**-Konferenz findet im Rahmen der ANSYS Conference und des 33. CADFEM Users' Meeting (www.usersmeeting.com) am 25. Juni 2015 in Bremen statt. Dort haben Sie die Möglichkeit, sich über CAE-Simulationen zu informieren und direkt mit den Vortragenden zu diskutieren und Erfahrungen auszutauschen.

Wir hoffen, dass Sie diese Ausgabe der **came**-Zeitschrift mit Freude lesen, viele interessante Informationen finden und dass wir Sie vielleicht in Bremen begrüßen dürfen.



Christoph Müller



Gerhard Friederici



Laszlo Kovacs



Lars Bonitz

Dr.-Ing. Christoph Müller Dipl.-Ing. Gerhard Friederici, M.A. PD Dr. med. Laszlo Kovacs Dr. med. Dr. med. dent. Lars Bonitz

came

Computer Aided Medical Engineering

News

4

Kurzbeiträge:

S. Wartzack, D. Krüger

Biomechanische Menschmodelle in der Produktentwicklung

6

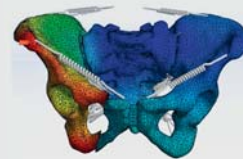
B. Murray, D. Bardot

Simulation for Regulation

8

P. Pieroh, A. Nolte, S. Kurz, D. Schreiber, C. Josten, J. Böhme

Modellierung, Randbedingungen und resultierende Veränderungen der Bandbeanspruchung und Stresszonen an Implantaten bei der Simulation von Beckenringfrakturen



10

M. Bongert, M. Geller, J. Strauch, D. Buchwald,

V. Nicolas, U. Aschenbrenner

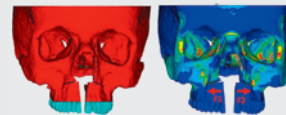
Untersuchung der Rezirkulation der Blutströmung im rechten Vorhof beim Einsatz einer VV-ECMO



15

L. Wolter, A. Volf, L. Bonitz, M. Eblenkamp, E. Wintermantel

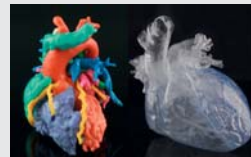
Simulation der forcierten Gaumennahterweiterung mittels FEM Optimierung der Osteotomieführung für eine symmetrische Distraction



22

P. Lopes, M. Fremmer, C. Bichlmeier, P. Verschueren

Patient-Specific Cardiovascular Models for Educational and Training Purposes



27

Serie

Mechanische Eigenschaften eines Finite-Elemente-Modells des humanen Unterarmes

32

Veranstaltungen

38

Impressum/Veröffentlichungen

40

Titel

Entwurf und Gestaltung: Ludwig-Kirn Layout, Ludwigsburg

Bild: B.Sc. (TUM) Lennart Wolter, CADFEM GmbH

Release Update Mimics® Innovation Suite

Discover What's New in the Latest Release of Mimics 18.0 and 3-matic 10

Materialise is proud to announce the latest release of the Mimics Innovation Suite for Engineering on Anatomy! This software update celebrates Materialise's 25th anniversary! We're looking forward to engineering the future with you.

For the development of Mimics 18.0 and 3-matic 10.0 we focused heavily on user-friendliness to further improve your workflows. We've also included new tools to significantly speed up the segmentation process and expand your visualization capabilities. Discover what's new and see how you can incorporate the latest functionalities into your workflow.

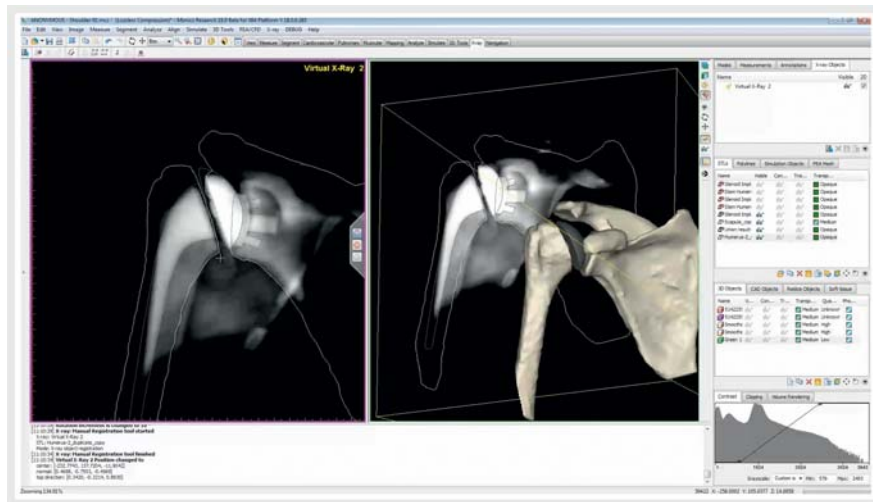
Why Choose the Mimics® Innovation Suite

Materialise strives to help you to stay on the cutting-edge of the biomedical industry by providing the most advanced tools available. With our Suite, you can achieve rapid, reliable image segmentation and accurate 3D reconstructions with our validated technology for „Engineering on Anatomy“. With the Mimics Innovation Suite and our team of „innovators you can count on“, the possibilities are endless.

General Improvements

The Mimics Innovation Suite has been updated with various features to enhance your user experience:

- **Contour Editing:** Finish your segmentation faster and in a more intuitive way by interactively adjusting the object contours on the 2D image cross sections.
- **Snapping:** Create measurements and objects to intuitively aid in your analysis. Mimics will now automatically detect and let you snap to existing points, mid-points of lines, centers of 3D object contours and much more.
- **Improved Project Management:** Customize and speed up your workflows with adjustable „project management“ tabs in Mimics. With our new unlimited pro-



ject file size, you can also import large image stacks.

- **Fluoroscopy View:** Enhance the view of your region of interest by identifying optimal c-arm angles for fluoroscopy. You can even simulate the angiographic view you would have during surgery.
- **Remember Parameters:** Easily repeat a specific workflow on multiple objects. **Ruler:** Rapidly comprehend the dimension of the objects in your project.
- **Sharing Your 3D Project:** Add a logo to your design and export it for printing or as a customizable 3D PDF with a header or footer.

Improvements for Orthopaedic and CMF Professionals

We are broadening your „Engineering on Anatomy“ capabilities with expanded visualization capabilities. In addition, our improved design tools allow you to prepare more realistic custom implants with increased flexibility.

- **Optimize Your X-ray* Protocol:** Simplify your 2D/3D registration with the new „virtual X-ray“ Tool.
- **Design Plates with Variable Thickness:** Design more realistic cranial plates for a better fit with the surrounding bone.

- **Improve Your FEA Meshing:** Take your finite element analyses to a higher level with the enhanced mesh creation and unlimited material assignment.

Improvements for Cardiovascular Professionals

Whether you are designing stents, valves, CRM devices or benchtop models, there's no better way to begin than with medical image data.

- **Accelerate Heart Segmentation:** Automate your segmentation of the different heart chambers by defining the appropriate threshold. On a good quality dataset, this can be done in a few clicks.
- **Simplify Benchtop Model Creation:** Bridge between any two closed contours or sweep along a chosen path with multiple closed contours with the „Loft“ and „Sweep Loft“ tools.
- **Characterize the Mitral Valve:** Limit the number of design iterations and enter clinical trials with more confidence using this patent pending workflow!

Materialise
innovators you can count on

Contact: mimics@materialise.be
or biomedical.materialise.com

Neue 3D-Menschmodell-Datenbank von Simpleware

Die britische Firma Simpleware entwickelt Softwarelösungen zur Visualisierung und Analyse von 3D-Bilddaten und deren Umwandlung in hochwertige CAD- und CAE-Modelle. Simpleware bietet nun auch analysefertige Modelle des menschlichen Körpers, die individuell an Kundenwünsche angepasst werden können. Die Sammlung besteht aus segmentierten anatomischen Modellen und basiert auf hochwertigen MRT- und CT-Scan-Daten. Die Simulationsmodelle sind in einer Vielzahl an Varianten erhältlich und reichen von Ganzkörpermodellen in verschiedenen Perzentilen bis zu einzelnen Teilen des menschlichen Körpers.

Die Menschmodelle basieren auf der einzigartigen CAE-Modellierungs-Software von Simpleware und können in viele CAD-, FEM- und CFD-Pakete (wie ANSYS, COMSOL, Abaqus CAE, LS-DYNA und

Nastran) importiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, CAD-Modelle, zum Beispiel von Implantaten, problemlos in die anatomischen Geometrien zu integrieren.

Wissenschaftler und Ingenieure aus verschiedenen Anwendungsgebieten profitieren von den Simpleware-Simulationsmodellen, da sie über ein große Detailreue verfügen und an die jeweiligen kundenspezifischen Anforderungen anpassbar sind. Detaillierte Kopf- und Vollkörpermodelle wurden bereits erfolgreich von Organisationen wie dem US Naval Research Laboratory für Kopfaufprall-Analysen und ANSYS (Ansoft) für elektromagnetische Simulationen verwendet.

Weitere Informationen finden Sie unter:

www.humanbodymodels.com
www.simpleware.com



Beispiel eines Menschmodells von Simpleware

Patient-specific Musculoskeletal Modelling of Total Knee Arthroplasty using Force-dependent Kinematics

Congratulation to Michael Skipper Andersen (AnyBody Research Group, Aalborg University) and coworker for winning 2014 Grand Challenge competition 1st place for their study

What is the grand challenge competition?

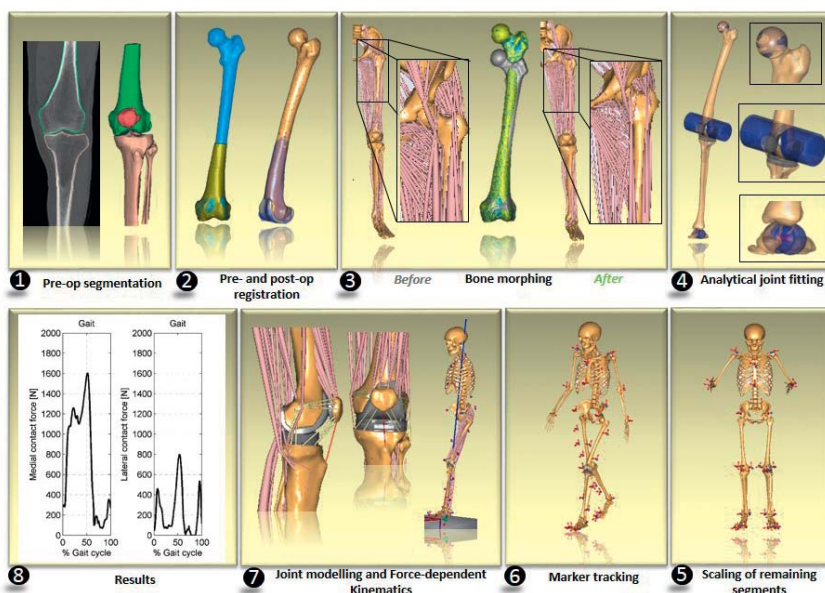
The Grand Challenge is a unique competition using musculoskeletal simulation to

predict in vivo knee loads organized by B.J. Fregly (University of Florida), Darryl D’Lima (Scribbs Clinic) and Thor Besier (Auckland Bioengineering Institute). Patient data sets including video motion, ground reaction, muscle EMG, muscle strength, static and dynamic imaging, and implant geometry are used by the participants to create musculoskeletal models to predict tibial contact forces without having access to the corresponding in vivo measured tibial contact forces (Fregly et al. 2012 JOR).

Who participated?

In 2014 several academic groups from all over the world participated in the 2014 challenge. Research groups from France/Luxemburg, Korea, China, USA, Denmark/Belgium/Netherlands participated using different approaches and simulation tools.

For more information about the AnyBody Modeling System please visit www.anybodytech.com



Pictures: Courtesy of Michael Skipper Andersen (Aalborg University, DK)

Untersuchung der Rezirkulation der Blutströmung im rechten Vorhof beim Einsatz einer VV-ECMO

M. Bongert, M. Geller, J. Strauch, D. Buchwald, V. Nicolas, U. Aschenbrenner*

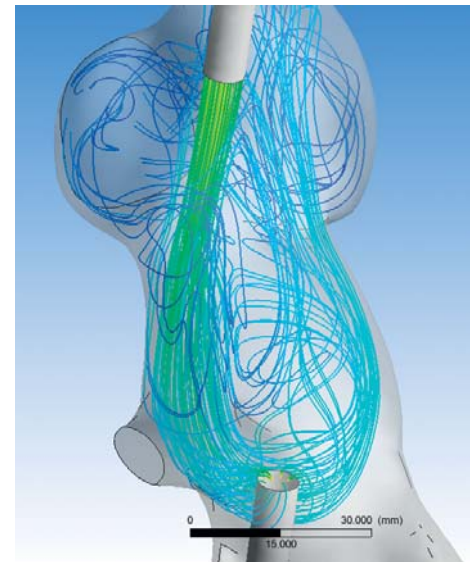
Abstract

Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is an ultima ratio treatment technique for patients with acute, severe pulmonary failure. However, in practice, the optimization of oxygen supply to patients treated with ECMO has proved to be less than expected, with blood recirculation suspected as being a significant cause for this shortfall. Current simulation models, based on using steady state simulation with physiological boundaries, now make it possible to analyse incidence of recirculation during ECMO-use.

The results of this study suggest a means of increasing oxygen saturation in situ in patients by up to 11 %, thereby increasing the effectiveness of ECMO therapy.

Keywords

Oxygen supply, virtual venous Model, VV-ECMO, Recirculation



* Dipl.-Ing. Markus Bongert, Prof. Dr.-Ing. Marius Geller
Fachhochschule Dortmund, Forschungsschwerpunkt „Computersimulation im Maschinenbau“, Dortmund
Prof. Dr. med. Justus Strauch, Dr. rer. medic. Dirk Buchwald
Ruhr-Universität Bochum, Universitätsklinikum Bergmannsheil, Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie, Bochum
Prof. Dr. med. Volkmar Nicolas, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsklinikum Bergmannsheil, Institut für Diagnostische Radiologie, Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin, Bochum
Dr. med. Ulf Aschenbrenner
Universitätsklinik Dresden, Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie

Zusammenfassung

Die veno-venöse extrakorporale Membranoxigenation (ECMO) stellt eine Akuttherapie-Behandlungsmethode beim schweren, akuten Lungenversagen dar. Im klinischen Einsatz zeigt sich, dass die Optimierung des Sauerstoffangebots für den Patienten das erwartete Maß nur zum Teil erreicht. Eine Rezirkulation des angereicherten Blutes wird als Ursache vermutet. Die Analyse der Inzidenz der Rezirkulation während eines ECMO-Einsatzes wird nur mit virtuellen Modellen der realen Anatomie ermöglicht, mit denen stationäre Simulationen mit physiologischen Randbedingungen durchgeführt werden.

Die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse führen zu einer Steigerung der Sauerstoffsättigung im Patienten um ca. 11 % und somit zu einer effektiveren ECMO-Therapie.

Schlüsselwörter

Sauerstoffangebot, virtuelles Venenmodell, VV-ECMO, Rezirkulation



Bild 1: In den Alveolen mit ihren Blutkapillaren (die kleinste Funktionseinheit der Lunge – hier als Detailvergrößerung) nimmt das Hämoglobin Sauerstoff auf. Zudem erfolgt mittels Diffusion auch die Entsorgung von Kohlendioxid. [1]

1 Einleitung

Die Energie, die der menschliche Körper benötigt, wird vornehmlich durch die Verbrennung von Nährstoffen erzeugt. Wesentlich ist dabei die dem augenblicklichen Zustand des Körpers angepasste Versorgung mit Sauerstoff O_2 sowie die Entsorgung von Kohlendioxid CO_2 . Dieser Vorgang erfolgt mittels Diffusion in den Alveolen (Bild 1). Das in den Erythrozyten befindliche Hämoglobin nimmt dabei den Sauerstoff auf. Eine Dysfunktion der Sauerstoffaufnahme und der Sauerstoffdiffusion kann verschiedene Ursachen haben. Größtenteils kann das Lungenversagen auf eine Pneumonie wie zum Beispiel durch den H1N1-Influenza Virus oder eine schwere Aspiration von Salz-/Süßwasser mit konsekutiver Pneumonie zurückgeführt werden. Auch eine Sepsis nicht pneumogener Art oder ein Lungenversagen im Rahmen einer schweren Lungenkontusion kann dafür ursächlich sein.

Ein akutes Lungenversagen stellt in der Intensivmedizin eine enorme Herausforderung dar, wenn alle konventionellen therapeutischen Maßnahmen den Zustand des Patienten nicht verbessern können. In solchen Fällen kann die Organfunktion von einem künstlichen Kreislaufsystem außerhalb des Körpers (veno-venöse extrakorporale Membranoxigenation – ECMO) übernommen werden. Im Gegensatz zu den Intensivrespiratoren, bei denen die Alveolen bei längerem Einsatz zum Kollabieren neigen, kann eine ECMO-Therapie über Tage und Wochen eingesetzt werden.

Für den Anschluss eines ECMO-Systems werden die dafür notwendigen etwa fingerdicken Kanülen mit dem venösen Gefäßsystem in der Leiste (femoral) und am Hals (jugular) verbunden. Kleinere ECMO-Systeme eignen sich als künstliche Lungen auch zur mobilen Anwendung außerhalb der Klinik durch ein routiniertes ECMO-Team bestehend aus Notarzt und Kardiotechnikern.

Bis Anfang 2014 sind von den mehr als 170 weltweit aktiven ECMO-Zentren nahezu 58.000 ECMO-Anwendungen der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) gemeldet worden. Der positive Ausgang bei adulten Patienten, die eine respiratorische ECMO erhalten haben, beträgt 64 % [2].

Sowohl im Tiermodell als auch im klinischen Alltag wird festgestellt, dass beim Einsatz einer ECMO die Optimierung des Sauerstoffangebots für den Patienten das erwartete Maß nur zum Teil erreicht. Als Ursache wird eine Rezirkulation vermutet, d.h. das in der ECMO angereicherte Blut strömt durch den rechten Vorhof an der Trikuspidal-Klappe vorbei und wird sofort wieder abgesaugt (Bild 2). Insbesondere der Lage der Kanülen mit ihrem Einfluss auf die Strömung innerhalb der Vena Cava sowie des rechten Vorhofes wird dabei eine zentrale Bedeutung beigemessen.

2 Material und Methoden

Zur Untersuchung der Rezirkulation beim Einsatz einer VV-ECMO ist es erforderlich, die Abstände zweier ECMO-Kanülen zueinander systematisch zu variieren. In der Medizin wird die in vivo Methode zur phänomenologischen Untersuchung vorrangig genutzt. Diese Methode gerät aber bei einer systematischen Analyse mit Variation mehrerer Parameter sowohl am Patienten als auch im Tiermodell schnell an

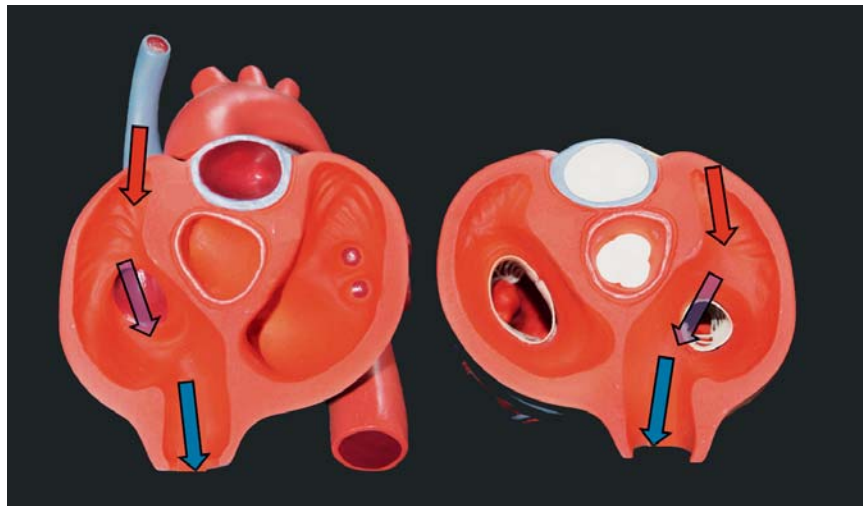


Bild 2: Die Rezirkulation wird im Schnittmodell des Herzen dargestellt. Das Blut aus der jugularen Kanüle strömt an der Trikuspidal-Klappe weitestgehend ungehindert vorbei.

ihre Grenzen bzw. ist ethisch nicht vertretbar. Nicht nur allein wegen der hohen Anzahl von notwendigen Versuchen.

Die bisherige Alternative stellt die in vitro Methode dar. Dabei wird auf eine kontrollierte künstliche möglichst physiologische Umgebung zurückgegriffen. Die Validierung der dort gefundenen Ergebnisse erfolgt dann in gezielten Versuchen in vivo (Bild 3). Der Umfang und zum Teil die notwendigen Vereinfachungen der in vitro Modelle zeigt schnell die Grenzen hinsichtlich der Messtechnik, Visualisierung, Zeit und Kosten auf.

Im Maschinenbau hat sich die Methode der numerischen Simulation – daher in silico – mit Anwendung virtueller Modelle seit langem bewährt. Die ihr eigenen Vorteile lassen sich zunehmend auch für die Biomedizintechnik nutzen [3, 4]:

- Berechnung und Auswertung der Strömung in komplexer 3D-Geometrie, wie sie bei der humanen Anatomie anzutreffen ist,

- Quantifizierung sonst nicht messbarer physikalischer Größen (z.B. Schubspannungen),
- Auswertung an jedem Punkt innerhalb des virtuellen Modells möglich,
- weniger zeit- und kostenintensiv als Messungen,
- extrem schnelle Parameterstudien.

Damit lassen sich die Faktoren Zeit, Kosten und Tierversuche auf ein absolut notwendiges Mindestmaß reduzieren.

Als Basis für die Untersuchung der Rezirkulation in der Vena Cava sind für den Einsatz einer veno-venösen ECMO-Anwendung (VV-ECMO) zwei Standard-ECMO-Kanülen in ihrer Standardposition verwendet worden. Die juguläre Kanüle ist in der Mitte des rechten Vorhofes in Höhe der Trikuspidal-Klappe und die femorale Kanüle in Höhe der Lebervenen platziert (Bild 4).

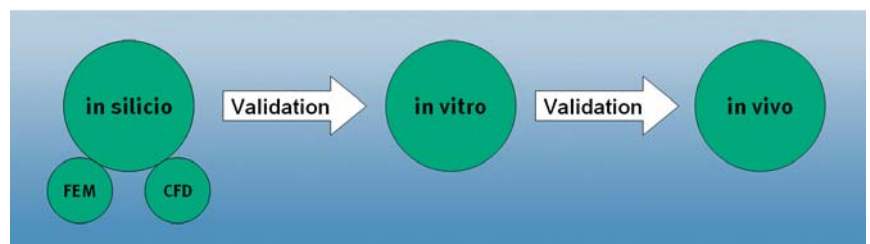


Bild 3: Die klassischen Untersuchungsmethoden müssen um die Methodik der numerischen Simulation (in silico) ergänzt werden, damit deren Grenzen bzgl. der messtechnisch nicht erfassbaren Parameter, Visualisierung, Zeit oder Kosten überwunden werden.

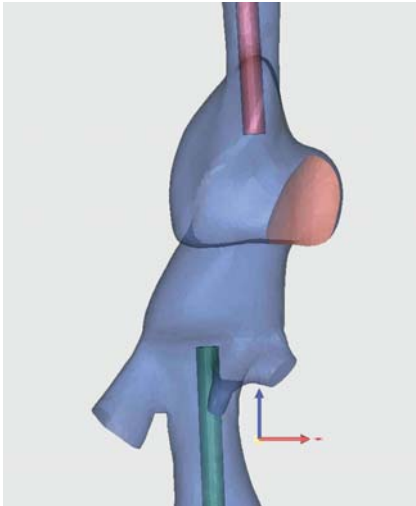


Bild 4: Standardlage der Kanülen bei einer VV-ECMO-Anwendung. In Höhe der Trikuspidalklappe befindet sich die juguläre (obere) Kanüle. Die femorale (untere) Kanüle liegt in Höhe der Lebervenen.

Damit die Rezirkulation nicht nur qualitativ sondern auch quantitativ erfasst werden kann, ist der Parameter „Rezirkulationsgrad G_{RC} “ als das Verhältnis der Sauerstoffsättigung am Eintritt der femoralen Kanüle zu der Sauerstoffsättigung der ECMO, d. h. am Austritt der jugulären Kanüle, definiert worden.

$$G_{RC} = \frac{sO2_{femoral}}{sO2_{ECMO}} * 100 [\%] \quad (Gl. 1)$$

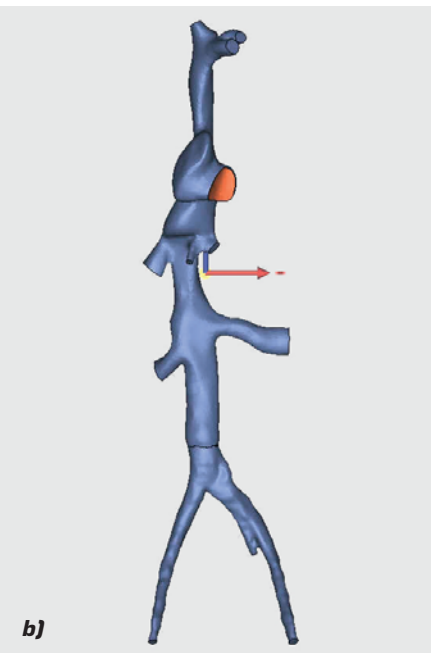
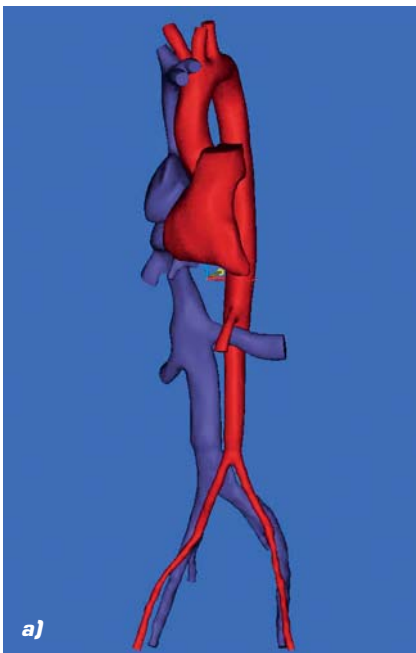


Bild 6: a) Virtuelles kardiovaskuläres System nach sorgfältiger Bearbeitung und Export in das STL-Format, das als Basis für CFD-Anwendungen dient (Vernetzung, Simulation) b) Einzelne Domäne des gescannten venösen Gefäßsystems im STL-Format.

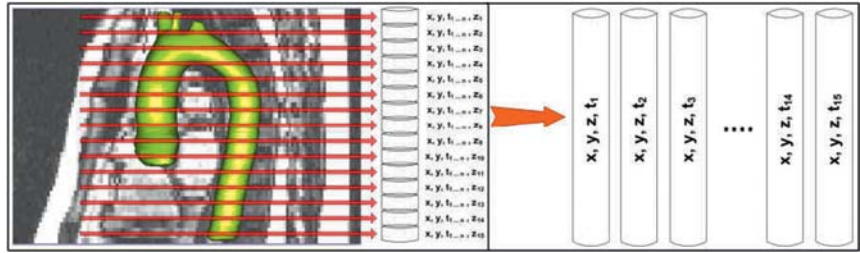


Bild 5: Der Scan des ganzen Torsos mittels MRT erfolgt schichtweise. Jede Schicht beinhaltet die zeitabhängige 2D-Geometrie. Diese DICOM-Struktur muss geändert werden, sodass die komplette Anatomie als (x, y, z) -Datenblock für jeden Aufnahmezeitpunkt des MRTs vorliegt.

2.1 Geometrierzeugung

Da zur Erfassung der Anatomie eine Kontrastmittelgabe sowie eine Strahlenbelastung vermieden werden sollte, wurde in dieser Studie ein Kernspintomograph (MRT) verwendet. Als Aufnahmezeitpunkte für den axialen Scan des kompletten Torsos kam die Cine-SSFP-Sequenz mit Bright-Blood-Darstellung (SSFP = Steady State Free Precession) zum Einsatz. Sie ist Bestandteil der in der klinischen Routine eingesetzten EKG-getriggerten Cardio-MRT-Untersuchung.

Die Anatomie liegt nach ihrer Akquise im DICOM-Format vor, d. h. für jede Schicht mit der Dicke von 3 mm existieren die Daten im Format (x, y, t_1, \dots, t_n) . Damit die Anatomie in einem CAD-Format erzeugt werden kann, muss sie in die neue Struktur (x, y, z) für jeden Aufnahmezeitpunkt mittels der Spezialsoftware DICOM 3D Extractor[©]

von MHGS konvertiert werden. Dieser Arbeitsschritt reproduziert die Anatomie ohne jeglichen Qualitätsverlust (Bild 5).

Zur weiteren Bearbeitung wird ausschließlich die Mimics Innovation Suite von Materialise benutzt, die sich bereits in zurückliegenden Studien bewährt hat. Damit lassen sich die neu strukturierten 3D-Blöcke für die Segmentierung der einzelnen Layer importieren. Dieser gesamte Prozess muss sehr sorgfältig durchgeführt werden, damit nach der Rekonstruktion die Geometrie immer noch mit der Anatomie identisch ist [5].

Die Aufteilung des Geometriemodells in seine Bestandteile (arterielle und venöse Gefäße, rechter Vorhof sowie linke Ventrikel) schließt sich an die Rekonstruktion an. Jede Domäne wird dann in das CAD-Format „STL“ (Stereolithographie) exportiert (Bild 6b). Dieser Wechsel des Dateiformates ist für die weitere Anwendung von Strömungsanalyse (CFD – Computational Fluid Dynamics) oder Strukturmechanik (FEM – Finite Element Methode) unbedingt notwendig.

2.2 Simulationsmodelle

Für die Variation der Kanülenabstände wird in das Fluidvolumen des kompletten Venensystems der originalen Anatomie, das von der Vena jugularis bis einschließlich der Vena femoralis reicht, das zuvor erzeugte 3D-CAD-Modell einer standardmäßigen 21-French-Kanüle jeweils interaktiv eingeführt (Bild 7). Wie im Notfall-einsatz muss auch bei einem virtuellen Modell darauf geachtet werden, dass beim Einführen einer Kanüle in die Vene die Gefäßwand nicht perforiert wird.

Beim Aufbau der einzelnen Simulationsmodelle sind die Kanülen zum einen symmetrisch und zum anderen asymmetrisch positioniert worden. Bei der symmetrischen Platzierung im Simulationsmodell sind sowohl die juguläre Kanüle als auch die femorale Kanüle beginnend bei ihrer

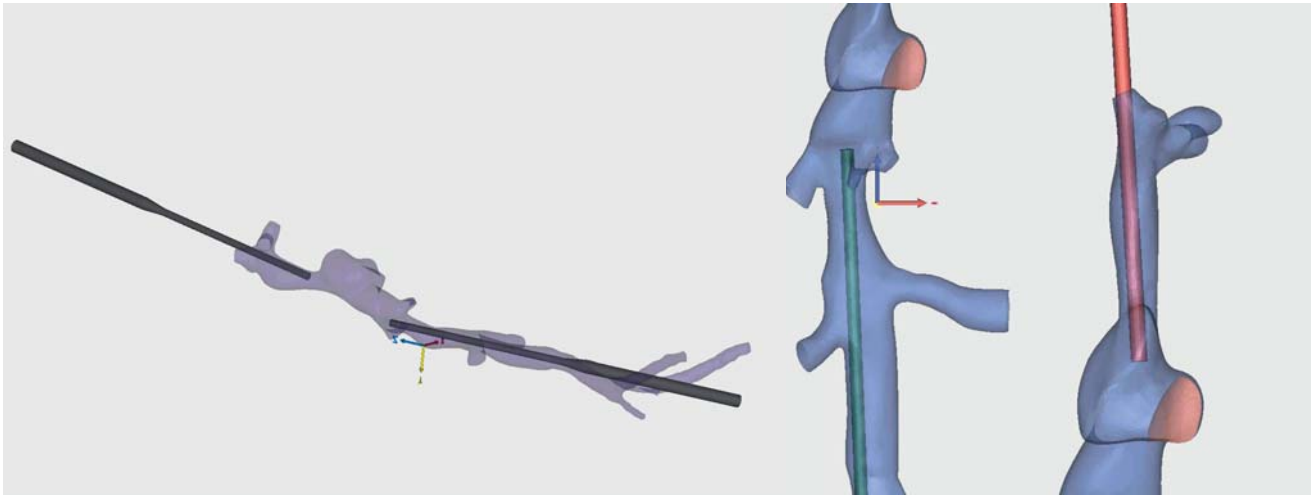


Bild 7: Auch das interaktive Einföhren von Kanülen in das virtuelle Venensystem verlangt Fingerspitzengeföhl, damit keine Löhcher in die Gefäßwand gerissen werden. Die beiden äußeren Darstellungen zeigen das Ergebnis für die femorale und jugulare Kanüle.

Standard-Position (*Bild 8a*), jeweils in Schritten von 5 mm zurückgezogen worden (*Bild 8b*). Die jugulare Kanüle ist bei dem asymmetrischen Simulationsmodell in der Mitte des rechten Vorhofes in Höhe der Trikuspidal-Klappe fixiert. Die femorale Kanüle ist ausgehend von ihrer Standardposition in Höhe der Lebervenen in Schritten von ca. 12 mm zurückgezogen worden. Der maximale asymmetrische Abstand von 241 mm wird erreicht, wenn die femorale Kanüle bis kurz oberhalb der Bifurkation platziert worden ist (*Bild 8c*).

Bei diesem Vorgehen ist gewährleistet, dass die Strömungssimulationen unter realitätsnahen Bedingungen durchgeführt werden können. Einflüsse wie die der Gefäßgeometrie sowie Kanülenlage werden dadurch berücksichtigt. Diese Arbeitsschritte sowie das sich anschließende Erzeugen eines Volumennetzes auf Basis eines Oberflächennetzes sind mit der Software 3-matic[®] der Mimics Innovation Suite durchgeführt worden.

2.3 Randbedingungen

Die im Blut vorhandenen Bestandteile sind für das Non-Newton-Verhalten verantwortlich. Der strukturviskose Effekt von Blut wird durch eine empirische Funktion berücksichtigt, die die physiologischen Parameter wie Hämatokrit, Fibrinogen sowie Gesamteiweißkonzentration beinhaltet. Die dynamische Viskosität wird in Abhängigkeit der Shear Strain Rate mittels einer Expression berechnet (*Bild 9*).

Die stationären Simulationen sind mit den weiteren nachfolgend aufgeführten Randbedingungen durchgeführt worden:

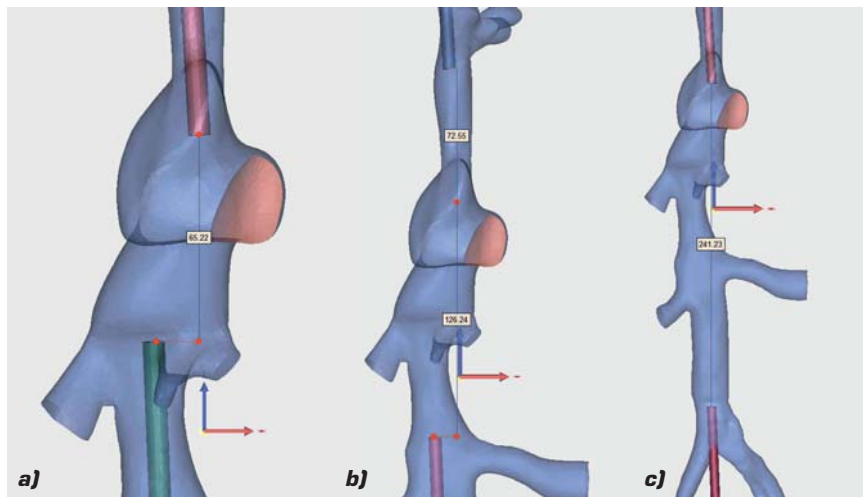


Bild 8: a) Bei dem symmetrischen Simulationsmodell ist ausgehend von der Standardposition der Kanülen die jugulare Kanüle sowie die femorale Kanüle in Schritten von 5 mm zurückgezogen worden. b) Dadurch wird ein maximaler Abstand von 198 mm erreicht. c) Der maximale Abstand wird beim asymmetrischen Modell erreicht, indem die femorale Kanüle kurz oberhalb der Bifurkation platziert wird.

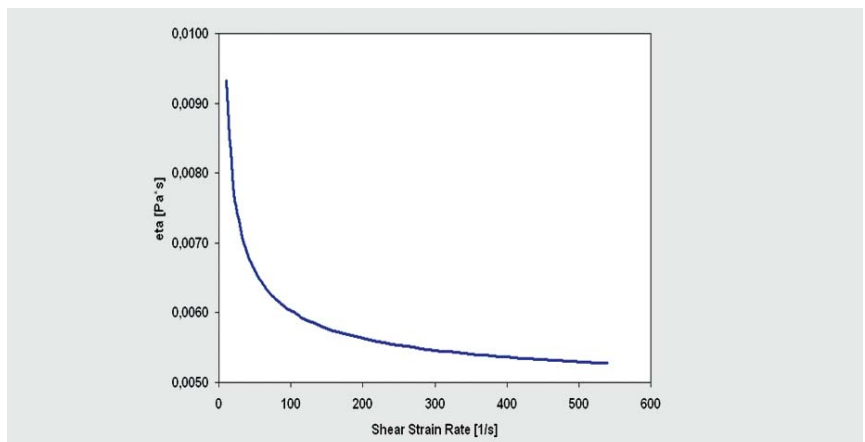


Bild 9: Die dynamische Viskosität von Blut als ein Non-Newton Fluid wird mittels einer empirischen Funktion berechnet. Dabei werden Parameter wie Shear Strain Rate, Gesamteiweißkonzentration, Hämatokrit und Fibrinogen berücksichtigt.

ECMO – Flow	: 3 l/min
Herzzeitvolumen	: 5 l/min
Kanüledurchmesser	: 21 French
sO ₂ – Body	: 60 %
sO ₂ – ECMO	: 100 %

Damit die Auswirkung der Rezirkulation auf die Sauerstoffsättigung verdeutlicht werden kann, wird für das Blut, das über die Vena Cava superior (VCS) und Vena Cava inferior (VCI) dem rechten Atrium zufließt, ein schlechter Ausgangswert für den Parameter sO₂-Body in Höhe von 60 % angenommen. Bei den Simulationen ist dieser Parameter sowie der ECMO-Flow nicht variiert worden. Weiterhin wird angenommen, dass sich das Herzzeitvolumen zu 1/3 in die Vena Cava superior und zu 2/3 in die Vena Cava inferior aufteilt.

Der Volumenstrom aus der Leber beträgt im Mittel 1/4 des Herzzeitvolumens, der auf die vorhandenen Lebervenen aufgeteilt werden muss. Wird die femorale Kanüle kurz oberhalb der Bifurkation positioniert, muss der Volumenstrom aus den beiden Nierenvenen mit 1/5 des Herzzeitvolumens noch zusätzlich berücksichtigt werden.

3 Ergebnisse

Mit den durchgeführten numerischen Simulationen ist es möglich, die Rezirkulation sowohl qualitativ als auch quantitativ zu beschreiben sowie zu analysieren. Die Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung in der originalen Anatomie der Vena Cava und damit der Rezirkulation erfolgt unter anderem als Konturplot und in Form von Stromlinien im Postprocessing.

Die Jetströmungen der jugularen Kanüle sind zusammen mit dem Kanülenabstand verantwortlich für die retrograden Strömungen innerhalb der Vena Cava. Bei der Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung für die verschiedenen Kanülenabstände zeigt sich sowohl beim asymmetrischen (Bild 10a und b) als auch beim symmetrischen Modell (Bild 10c) ein ausgeprägtes Rezirkulationsgebiet, das bis zur femoralen Kanüle reicht.

Die Stromliniendarstellung visualisiert eindrucksvoll, wie die von der jugularen Kanüle ausgehende Jetströmung am rechten Vorhof vorbei geht. Erst in Höhe der Lebervenen strömt ein Teil wieder in Richtung Vorhof zurück. Folglich steht das angereicherte Blut nur anteilmäßig für das Ansaugen in den rechten Ventrikel zur Verfügung (Bild 11a). Selbst ein deutlich ver-

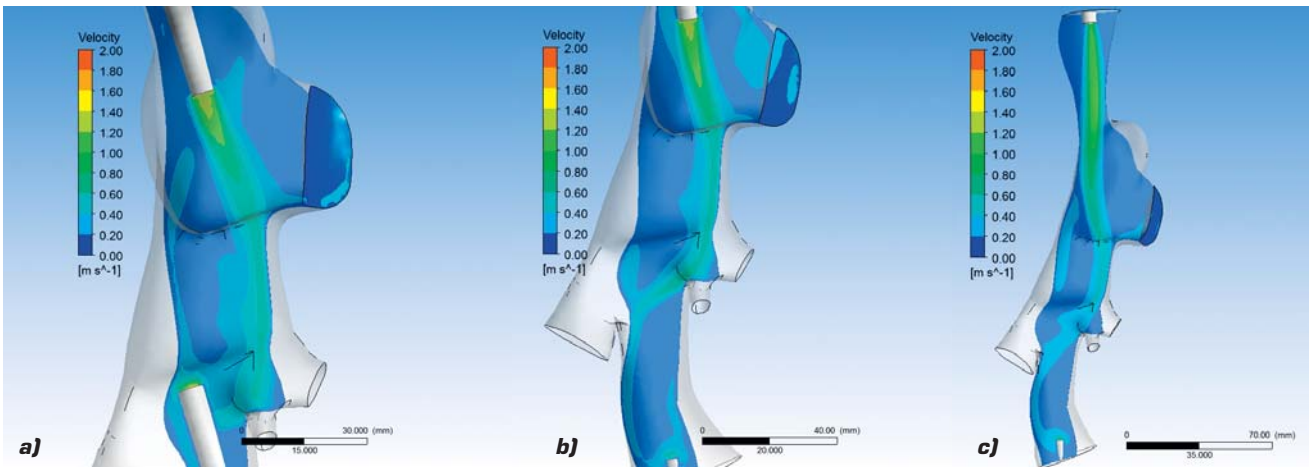


Bild 10: Die Blickrichtung ist seitlich rechts auf den rechten Vorhof a) In der Standardposition der beiden Kanülen zeigt sich das Rezirkulationsgebiet und eine sehr geringe Geschwindigkeit in Richtung des Ventrikels. b) Die Jetströmung der jugularen Kanüle forcirt dieses Profil. c) Selbst bei einem maximalen Abstand innerhalb des symmetrischen Modells bildet sich ein zusammenhängendes Geschwindigkeitsfeld aus.

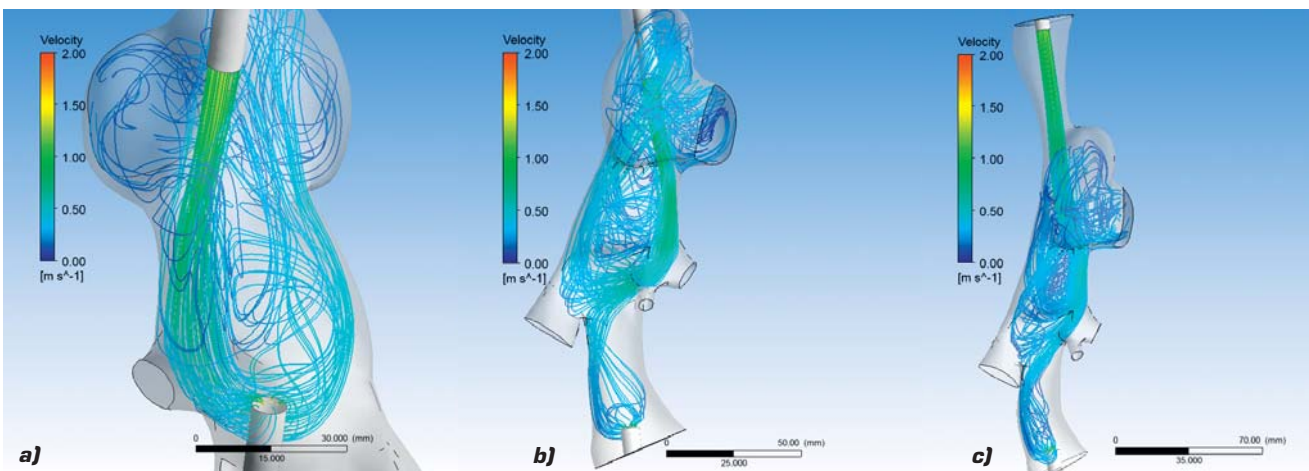


Bild 11: a) Die Stromlinien zeigen das Vorbeiströmen am rechten Vorhof und die Umlenkung in Höhe der Lebervenen. b) Dies trifft auch für das asymmetrische Simulationsmodell mit dem maximalen Abstand zu. c) Selbst bei einem maximalen Kanülenabstand innerhalb des symmetrischen Modells besteht eine Verbindung zwischen beiden Kanülen. D. h. die femorale Kanüle saugt Teile der jugularen Strömung ab.

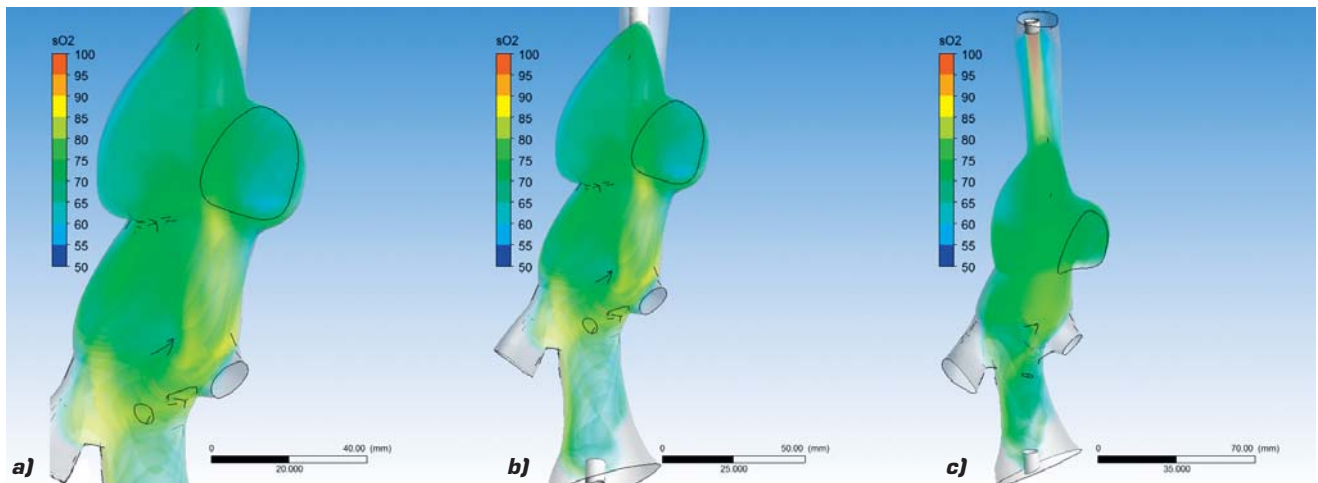


Bild 12: a) Die Visualisierung der Sauerstoffsättigung zeigt das Vorbeiströmen am rechten Vorhof und die Umlenkung in Höhe der Lebervenen. b) Dies trifft auch für das asymmetrische Simulationsmodell mit seinem maximalen Abstand zu. c) Bei einem maximalen Kanülenabstand innerhalb des symmetrischen Modells wird eine signifikante Steigerung der Sauerstoffsättigung im rechten Vorhof erkennbar: Unterhalb des Vorhofs bildet sich ein nahezu homogenes Gebiet mit einer erhöhten Sauerstoffsättigung aus.

größerer Kanülenabstand kann die Verbindung zwischen der jugularen und femoralen Kanüle und damit ein direktes Absaugen (Rezirkulation) nicht verhindern (Bild 11b, 11c).

Die Auswirkungen der Rezirkulation zeigt sich insbesondere am Parameter „Sauerstoffsättigung“ sO_2 . Dies gilt für das Bypassieren des rechten Vorhofs und die Umlenkung in Höhe der Lebervenen sowie eine signifikante Konzentration des angereicherten Blutes im rechten Vorhof. In dem Gebiet zwischen Vorhof und Lebervenen bildet sich ein deutlich homoge-

neres Gebiet für den sO_2 -Parameter aus (Bild 12b, 12c).

Die Darstellung der räumlichen Verteilung des sO_2 -Parameters zeigt in Bild 13, dass selbst das Zurückziehen der femoralen Kanüle bis zur Bifurkation nicht das Absaugen aus der in ihrer Standardposition befindlichen jugularen Kanüle und damit eine Rezirkulation verhindert. Des Weiteren wird ein Bolus mit hoher Sauerstoffsättigung zwischen den Leber- und Nierenvenen sichtbar, der sich eigentlich im rechten Vorhof befinden müsste.

Standardposition eine Reduktion des Rezirkulationsgrades um ca. 9 % erreicht.

- 2) Aufgrund des Zurückziehens der jugularen Kanüle wird für den Rezirkulationsgrad eine weitere Verringerung um ca. 1,0 % auf insgesamt ca. 10 % erreicht.
- 3) Eine weitere Reduktion von G_{RC} durch einen noch größeren Abstand der femoralen Kanüle ist nicht möglich.

Wie zu erwarten, zeigt der Kurvenverlauf für die Sauerstoffsättigung zu dem des Rezirkulationsgrades ein entgegengesetztes Verhalten (Bild 15):

- 1) Es existiert ein Mindestabstand von ca. 110 mm, bei dem im Vergleich zur Standardposition eine Verbesserung der Sauerstoffsättigung um ca. 7 % erreicht wird.
- 2) Aufgrund des Zurückziehens der jugularen Kanüle gelangt sie in eine zunehmend bessere Position, so dass die Sauerstoffsättigung um weitere ca. 3,6 % verbessert wird.
- 3) Ein Zurückziehen der femoralen Kanüle bis zur Bifurkation bewirkt dagegen keine weitere Verbesserung bei der Sauerstoffsättigung.

Die numerische Auswertung der ganzen Simulationen generiert zusätzlich zwei bemerkenswerte Aussagen hinsichtlich der Sauerstoffsättigung und damit indirekt zur Dominanz der Rezirkulation:

4 Diskussion

Im Rahmen dieser Studie ist die Rezirkulation beim veno-venösen ECMO-Einsatz mittels stationärer Simulationen untersucht worden. Dabei hat sich gezeigt, dass der Kanülenabstand – d. h. die Position der jeweiligen Kanüle – einen wesentlichen Einfluss auf die Rezirkulation und damit auf die Sauerstoffsättigung im rechten Vorhof hat.

Die Ergebnisse der Reihensimulationen können hinsichtlich der Rezirkulation sowie der Sauerstoffsättigung in zwei Diagrammen zusammengefasst werden. Der extrapolierte Verlauf für den jeweiligen Parameter wird durch eine gestrichelte Linie dargestellt.

Als wesentliche Aussagen lassen sich aus den Diagrammen (Bild 14, 15) ableiten:

- 1) Bei einem Mindestabstand von ca. 110 mm wird im Vergleich zur Stan-

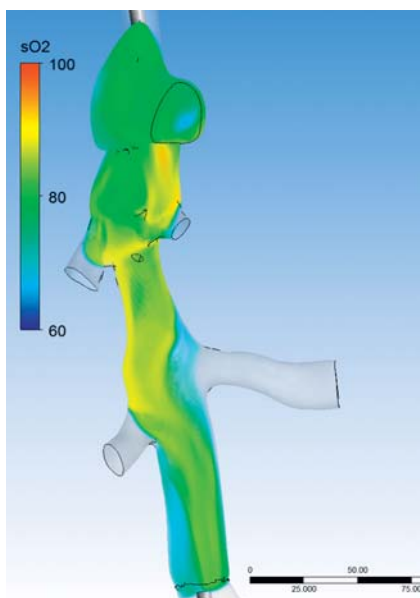


Bild 13: Ein Bolus mit hoher Sauerstoffsättigung bildet sich zwischen Leber- und Nierenvenen und nicht im rechten Vorhof aus.

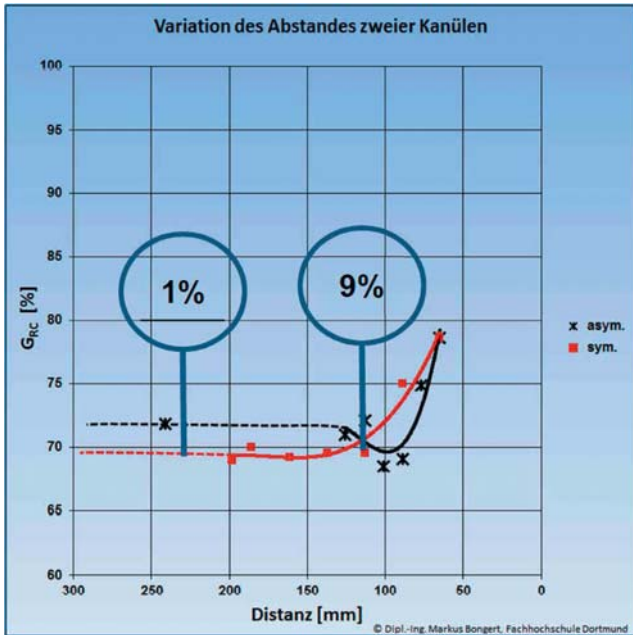


Bild 14: Aus dem Kurvenverlauf für den Rezirkulationsgrad lässt sich unabhängig vom Simulationsmodell (sym./asym.) ein Mindestabstand für die Reduzierung ermitteln. Allein das Zurückziehen der jugularen Kanüle bringt eine weitere Reduzierung für den G_{RC} -Wert.

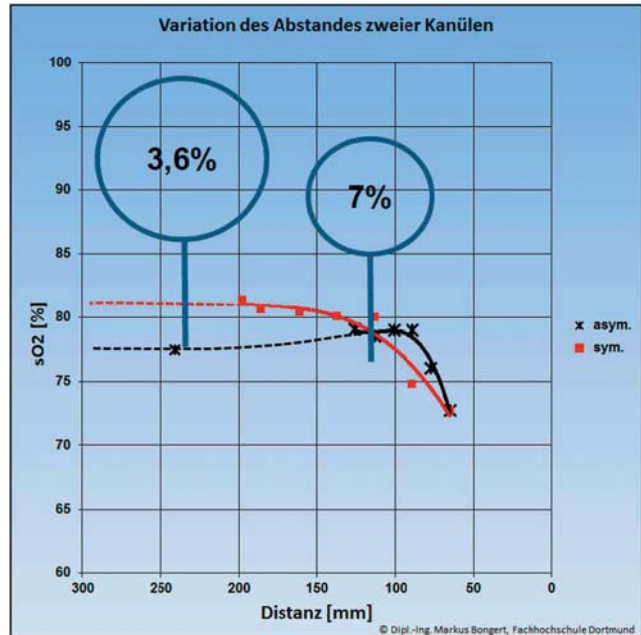


Bild 15: Die grafische Darstellung der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffsättigung zeigt die Existenz eines Mindestabstandes für beide Simulationsmodelle, bei dem eine Verbesserung von 7 % erreicht wird. Allein das Zurückziehen der jugularen Kanüle bringt eine weitere Steigerung für den sO_2 -Wert.

- Ein Tausch der Zugabe- und Entnahmestelle hat keine nennenswerte Auswirkung auf die in der Auswertebene „Outlet Ventrikel“ ermittelte Sauerstoffsättigung unter der Annahme einer Restsauerstoffsättigung im Körperblut von 60 % und bei einem ECMO-Durchfluss von 1 l/min. Allerdings darf dabei die Gefahr, dass die Gefäßwand der Vena femoralis angesaugt werden kann, nicht außer Acht gelassen werden.
- Ausgehend von Standard-Durchfluss (3 l/min) und -Position kann bei gleichzeitiger Abstandsvergrößerung der Kanülen der ECMO-Durchfluss auf 1 l/min reduziert werden, ohne Einbußen bei der Sauerstoffsättigung zu erhalten.

Diese beiden Ergebnisse sind konform zu den ELSO General Guidelines:

„... The optimal ECMO blood flow is the lowest flow rate required to provide adequate cardiopulmonary support (VV-ECMO: $\geq 70\%$)...“ [6]

allerdings bei einem deutlich geringeren Volumenstrom als den dort genannten 3 bis 6 l/min.

Referenzen

- [1] Anatomical Travelogue Inc. www.thevisualMD.com
- [2] Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), ELSO Registry Information, Ann Arbor, Michigan, January, 2014
- [3] Park JY., Park C.J., Min B.G., A numerical study on the effect of side holes number and arrangement in venous cannulae, J Biomech 2007; 40: p. 1153-1157
- [4] Grigioni M., Daniele C., Morbiducci U., et al, Computational model of the fluid dynamics of a cannula inserted in an vessel: incidence of the presence of side holes in blood flow, J Biomech 2002; 35: p. 1599-1612
- [5] Bongert M., Geller M., Pennekamp W., Nicolas V., Numerical Simulation of Hemodynamic in the Patient-Specific Aorta after Aortic Valve Replacement Based on MRI-Data, Editor: Eleanor H. Bennington, Horizons in World Cardiovascular Research, Vol. 2, New York, Nova Science Publishers Inc., 2010:247-263
- [6] Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), ELSO General Guidelines (2009), Ann Arbor, Michigan, January, 2014

Kurzbiografie

Dipl.-Ing. Markus Bongert

1984 – 1990 :

Studium des Maschinenbaus mit der Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik an der Ruhr-Universität Bochum

1989 – 1991

Studienbegleitende Tätigkeit bei der AVU, Aktiengesellschaft für Versorgungs-Unternehmen, in Gevelsberg

1991 – 1993

Diplom-Ingenieur bei der rhenag, Rheinische Energie AG, in Köln

1994 – 1995

Freier Mitarbeiter an der Fachhochschule Dortmund im Fachbereich Maschinenbau seit 1995

Wissenschaftlicher Mitarbeiter in Lehre und Forschung an der Fachhochschule Dortmund im Fachbereich Maschinenbau

Tätigkeitsschwerpunkt im Bereich der Strömungslehre / Strömungsmaschinen / Computersimulation.

Forschungsfokus in den beiden durch das Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Forschungsschwerpunkte

– „Computersimulation im Maschinenbau“ sowie – „BioMedizinTechnik“

auf der patienten-spezifischen Simulation im kardiovaskulären Bereich

Veranstaltungen

25. Juni 2015 in Bremen

came-Konferenz: FEM-Simulation in Medizin und Biomechanik

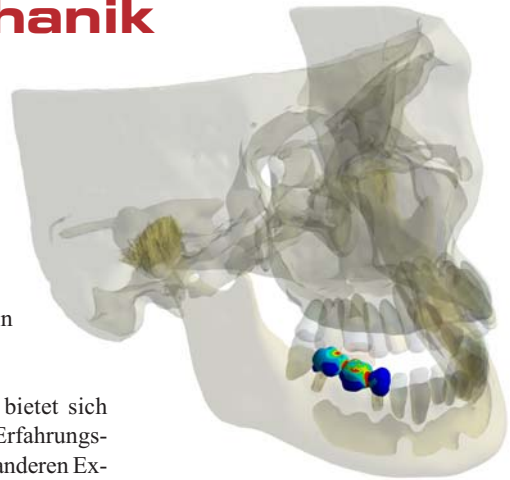
Die Vorträge auf der **came**-Konferenz am 25. Juni 2015 (9:00 bis 17:30 Uhr) in Bremen vermitteln den Teilnehmern einen Überblick zum aktuellen Spektrum der Simulation in den Bereichen Medizin und Biomechanik. Dabei steht das Akronym „**came**“ für Computer Aided Medical Engineering und verdeutlicht den Transfer der Simulationstechnologie aus ihrem „klassischen“ Umfeld, dem Maschinen- oder Fahrzeugbau, hin zu medizinischen Anwendungen. Während der Konferenz wird anhand von Beispielen veranschaulicht, welchen Mehrwert die Simulation bei ausgewählten klinischen Fragestellungen liefert.

Die Konferenz richtet sich an Entwicklungsingenieure aus der Medizintechnik, die sich mit der Interaktion von Medizinprodukten und menschlichem Körper beschäftigen. Aber auch Ärzte und Mediziner

sind angesprochen, die einen Einblick in die Simulationstechnologie gewinnen möchten. Zusätzlich ist die Konferenz für Forscher aus den Bereichen Biomechanik oder Medizin interessant, bei deren Arbeit die Simulation schon heute eine Rolle spielt oder in Zukunft spielen wird.

Im Congress Center Bremen bietet sich Gelegenheit zum intensiven Erfahrungsaustausch mit Anwendern und anderen Experten. Die **came**-Konferenz ist zum 5. Mal ein integraler Bestandteil der Fachkonferenz für Numerische Simulation von CADFEM und ANSYS.

Weitere Informationen und ein Anmeldeformular sind unter www.usersmeeting.com zu finden.



CADFEM GmbH

Alexander Nolte
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München
Tel. 08092 7005-49
E-Mail: anolte@cadfem.de
Internet: www.cadfem.de

12. und 13. Juni 2015 in Basel



Deutsch-Österreichisch-Schweizer Kongress für Sportorthopädie und Sporttraumatologie

Am 12. und 13. Juni 2015 findet der 30. Jahreskongress der GOTS (Deutsch-Österreichisch-Schweizer Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin) mit Kongresspräsident Prof. Dr. med. Beat Hintermann (Liestal) im Congress Center in Basel statt. Die Hauptthemen des 30. Jahreskongress der GOTS sind: Diagnostik und Therapie der Früharthrose, operative Fehlschläge in der Sportorthopädie und Sportmedizin, Sportfähigkeit im Alter, Sportverletzungen und Sportschäden am Sprunggelenk, Tennis sowie freie Themen.

Ergänzend zu den Vorträgen werden Instruktionkurse, Workshops und Symposien mit praktischen Demonstrationen angeboten. Als Themen sind beispielsweise vorgesehen „Wettkampfmedizin – Verbandsärzte“, „Young Investigator Award – by Otto Bock“ sowie „Mini-Battle: operative versus konservative Behandlung der akuten Achillessehnenruptur“.

Zu der Veranstaltung in Basel, die durch eine Industrieausstellung ergänzt wird, werden rund 500 Kongressteilnehmer erwartet, unter anderem Orthopäden, Unfall-

chirurgen, Sportärzte, Physiotherapeuten und Studenten.

Weitere Informationen zum Kongress finden Sie im Internet unter www.gots-kongress.org.

Intercongress GmbH

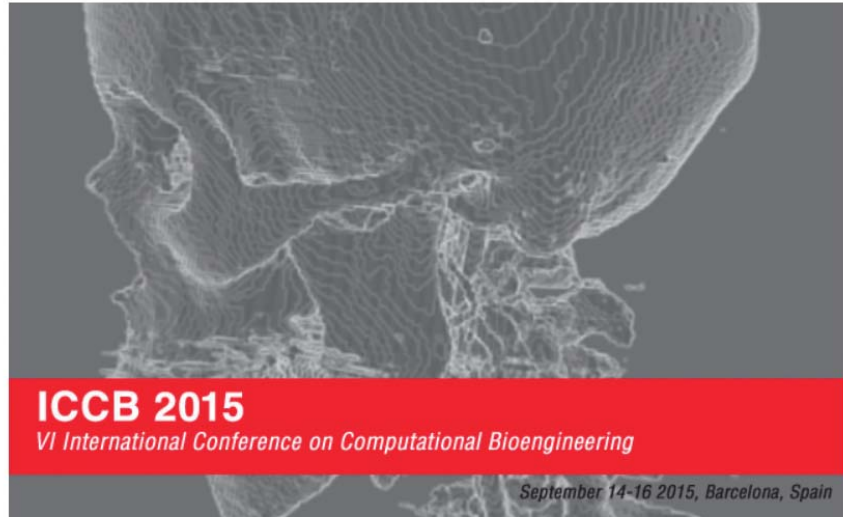
Bettina Fritsch
Wilhelmstr. 7, 65185 Wiesbaden,
Tel. +49 611 977 16-45
Fax +49 611 977 16-16
E-Mail: bettina.fritsch@intercongress.de
Internet: www.intercongress.de

14th to 16th September 2015 in Barcelona (Spain)

ICCB'2015: International Conference on Computational Bioengineering

The International Conference on Computational Bioengineering (ICCB'2015) will be held in Barcelona (Spain) from 14th to 16th September 2015, organised by Miguel Cerrolaza and Sergio Oller. This conference is the sixth edition of a well-known series of conferences (ICCB series), which started in 2003, that are already consolidated as leader conferences in the field. Recently, ICCB2015 has been recognized and appointed as "IACM Special Interest Conference" by the International Association of Computational Mechanics. ICCB conferences usually have 150 - 200 participants, and are designed to favour as much as possible the informal networking between researchers in addition to the exchanges in the scientific sessions.

Further information about the conference is available on the website <http://congress.cimne.com/ICCB2015>



CIMNE:
**International Center for Numerical
Methods in Engineering**

Barcelona, Spain
Tel. + 34 - 93 405 46 96
Fax. + 34 - 93 205 83 47
E-Mail: iccb2015@cimne.upc.edu

18th to 20th August 2015 in Shanghai (China)

ICBEB 2015: 4th International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology

The International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology (ICBEB) is an annual international meeting. The upcoming fourth annual conference, ICBEB2015, will be held in Shanghai, China, from August 18th-21st, 2015.

ICBEB is a platform for scholars, engineers, and scientists to present robust research demonstrating the expanding frontiers in the fields of Biomedical Enginee-

ring, Biomaterials, Biomedical Imaging, and Biomechanical Engineering. This conference will provide the most up-to-date research and cover a wide variety of application fields including; medicine, biology, physics, materials, computer science, chemistry and various clinical specialties.

The last conference, ICBEB2014, boasted nine highly respected guest speakers including; Prof. Dan Barouch from Harvard

Medical School, Dr. Christopher R. Jacobs, Dr. Edward J. Ciaccio from Columbia University, and Dr. Ng Yin Kwee from Nanyang Technological University. More than 300 participants from across the globe participated in the conference.



www.icbeb.org

Heft 1, 6. Jahrgang 2015

Herausgeber und Redaktion

CADFEM Medical GmbH
Dr.-Ing. Christoph Müller
Geschäftsführer
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München
www.cadfer-medical.de

Dipl.-Ing. Gerhard Friederici, M.A.
Redakteur, CADFEM GmbH

OA Dr. med. Dr. med. dent. Lars Bonitz
Leiter Biomechanisch-/ Biokybernetisches
Forschungslabor (BKFL) Klinik für Mund-,
Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische
Operationen – Klinikum Dortmund gGmbH

Lehrstuhl für MKG-Chirurgie der
Universität Witten/Herdecke
Münsterstrasse 240, 44145 Dortmund

PD Dr. med. Laszlo Kovacs
Leiter der Forschungsgruppe CAPS,
Ltd. OA und stellv. Klinikdirektor,
Klinik und Poliklinik für Plastische
und Handchirurgie,
Klinikum rechts der Isar,
Technische Universität München
Ismaninger Straße 22
81675 München

Veröffentlichungen

bitte an Dr.-Ing. Christoph Müller
Marktplatz 2, 85567 Grafing b. München
Tel.: +49-(0)8092-7005-43
E-Mail: cmueller@cadfer-medical.de

Manuskriptvorgaben

erhalten Sie unter
E-Mail: cmueller@cadfer-medical.de

Copyright

Beiträge, die mit vollem Namen oder auch mit Kurzzeichen des Autors gezeichnet sind, stellen die Meinung des Autors, nicht unbedingt auch die der Redaktion dar. Unverlangte Zusendungen redaktioneller Beiträge auf eigene Gefahr und ohne Gewähr für die Rücksendung. Die Einholung des Abdruckrechtes für dem Verlag eingesandte Fotos obliegt dem Einsender. Die Rechte an Abbildungen ohne Quellenhinweis liegen beim Autor oder der Redaktion. Ansprüche Dritter gegenüber dem Verlag sind, wenn keine besonderen Vereinbarungen getroffen sind, ausgeschlossen. Überarbeitungen und Kürzungen liegen im Ermessen der Redaktion. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen und Handelsnamen in dieser Zeitschrift berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen ohne Weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um geschützte, eingetragene Warenzeichen. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlags strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und

die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Entwurf und Layout

Ludwig-Kirn Layout, Ludwigsburg

Verlag

expert verlag GmbH
Wankelstr. 13, 71272 Renningen
Postfach 2020, 71268 Renningen
Tel.: +49-(0)7159-9265-0
Fax: +49-(0)7159-9265-20
E-Mail: expert@expertverlag.de

Anzeigen

Sigrid Hackenberg, expert verlag
Tel.: +49-(0)7159-9265-13
Fax: +49-(0)7159-9265-20
E-Mail: anzeigen@expertverlag.de
Informationen auf Anfrage.

Bezug

Kostenlose Verteilung

Wenn Sie die Zeitschrift **came** erhalten wollen schicken Sie eine E-Mail an cmueller@cadfer-medical.de mit dem unten ausgefüllten Bestellschein als Scan. Mit einer Bestellung erklären Sie sich einverstanden, dass Ihre Daten gespeichert werden.

Erfüllungsort und Gerichtsstand:
Leonberg

ISSN 2190-0698

1/15

Redaktionsprogramm

Methoden: Strukturmechanische Simulation (FEM) in der Prothetik – Strömungssimulation (CFD) in Blutgefäßen und Organen wie Herz und Lunge – FEM-Modellierung komplexer anatomischer Strukturen – Patientenspezifische FEM/CFD-Simulation – Bestimmung von Muskel- und Gelenkkraften – Materialgesetze und Materialparameter für hartes und weiches Gewebe, z.B. Knochen, Fett- oder Muskelgewebe – Design und Herstellung (Rapid Prototyping) von patientenspezifischen Implantaten – Der Entwicklungsprozess unter Einsatz von Simulationstools – Sicherheit und Zuverlässigkeit in der Medizintechnik – Datengewinnung und Messmethoden in der Medizintechnik

Anwendungen: Implantate für Hüfte, Schulter, Knie und Wirbelsäule – Osteosynthesen – Deformation von Fett- und Muskelgewebe – Stents, Herzklappen – Ergonomie – Belastungstests, Lebensdauerermittlung

Die Zeitschrift **came** – *Computer Aided Medical Engineering* wendet sich an Entscheider, Entwickler, Forscher und Ärzte in Unternehmen, Kliniken und Hochschulen sowie an Doktoranden und engagierte Studierende technischer und medizinischer Studiengänge.

Ja, ich bestelle die Zeitschrift **came**

Name, Vorname

Firma/Institut

Straße, Hausnummer

Telefon, E-Mail

PLZ, Ort

Datum, Unterschrift

Ich bin damit einverstanden, dass meine Daten gespeichert werden.