

HISPEED UND STEREO PIV IN EINEM KÜNSTLICHEN BLUTGEFÄß

HISPEED AND STEREO PIV IN A KINKED GRAFT

Kallweit, Stephan¹; Kaminsky, Rado²; van Canneyt, Coon²; Eloit, Sunny²

1 Intelligent Laser Applications GmbH, Jülich, Germany

2 Institute Biomedical Technology, Ghent University, Gent, Belgium

HiSpeed PIV, Stereo PIV, geknicktes Transplantat, Stenose

[HiSpeed PIV, Stereo PIV, kinked graft, stenosis](#)

Zusammenfassung

In einem 2:1 Modell des Transplantats eines Dialysepatienten werden PIV Messungen bei zwei verschiedenen Reynolds Zahlen $Re=400$ und $Re=1000$ durchgeführt. Die stereoskopischen PIV Messungen geben hierbei Hinweise über den dreidimensionalen Charakter der Strömung. Die Benutzung eines HiSpeed PIV Systems gibt Aufschlüsse bezüglich der zeitlichen Entwicklung der Strömung.

Einleitung

Bei Dialysepatienten werden häufig PTFE Transplantate zwischen Arterie und Vene eingesetzt, um Zugang zum Blutkreislauf zu bekommen. Aufgrund des Knicks der Prothese, kann es zu Verengungen (Stenosen) kommen. Um eine Vorhersage der Strömungszustände zu treffen, werden CFD Methoden benutzt, die zunächst validiert werden müssen. Ein genaues Modell des Transplantats eines Dialysepatienten kann - unter Zuhilfenahme von Geometriedaten aus der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) - hergestellt werden. Während einer längeren Therapie kann das Transplantat auch die Form und die Position verändern. Mit aktuellen MRT Daten können die Geschwindigkeitsverteilungen in einem sehr genauen Abbild des realen Transplantats ermittelt werden.

Aufbau

Das Modell des Transplantats wird aus einem optisch transparenten Harz gefertigt. Als Fluid dient eine Benzylalkoholmischung, die an den Brechungsindex angepasst wird. An das Negativ-Modell des Transplantats werden Prismen im Winkel von 90° gegossen, um die optische Zugänglichkeit für den stereoskopischen Aufbau zu vereinfachen. Abb. 1 zeigt den fünfeckigen Harzblock, der zusätzlich eine plane Fläche auf der Rückseite für die 2C-HiSpeed Messungen besitzt. Für die stereoskopischen Messungen werden zwei PCO SensiCam QE eingesetzt, da die Kameras eine sehr hohe Quanteneffizienz im roten Bereich aufweisen. Die eingesetzten $10\mu\text{m}$ Partikel sind mit Rhodamin B beschichtet und fluoreszieren im Bereich von ca. 570-650nm. Spezielle Farbfolien, die auf den Harzblock aufgeklebt werden, absorbieren die Anregungs-Wellenlänge des Lasers. Beide Kameras befinden sich auf Scheimpflug-Adaptoren unter $\pm 45^\circ$ zum Lichtschnitt. Als Laser wird ein 30mJ/Puls, blitzlampengepumpter Nd:YAG eingesetzt (New Wave Research, Solo I). Die Kameras und der Lichtschnitt befinden sich auf einer motorischen Traversierung, so dass der gesamte Bereich von ca. 50mm in vier Ebenen aufgeteilt wird. Da das Modell nur einen Durchmesser von ca. 10mm besitzt, wird die Kalibrierung mit einem 0,25 mm dicken,

48.2

lithografisch gefertigten Film mit Kreuzen der Strichstärke $25\ \mu\text{m}$, die in einem Abstand von $0,6\text{mm}$ angeordnet sind, durchgeführt. Zwei 60mm Micro-Nikkor Objektive $f\#2.8$ erlauben eine formatfüllende Abbildung auf dem CCD bzw. CMOS Chip. Es werden Messdaten bei zwei Volumenströmen ($1,1$ und $2,6\ \text{l/min}$) aufgenommen. Für die stereoskopischen Messungen werden 300 Bildpaare gemittelt. Anschließend wird die Traversierung um die Hälfte des sichtbaren Bereichs (ca. 10mm) verfahren und die Messung neu gestartet. Sind alle Ebenen erfasst, wird der Volumenstrom erhöht.

Bei den HiSpeed Messungen wird eine Photron APX-RS CMOS Kamera eingesetzt, die sich ebenfalls durch eine verhältnismäßig hohe QE auszeichnet. Ein Quantronix Darwin-80 (Nd:YLF) mit zwei Cavities und $2 \times 40\text{W}$ Maximalleistung dient als Lichtquelle, wird aber nur bei ca. 5W betrieben. Die Lichtschnittposition im Modell wird mittels Triangulation [1] der Disparity-Map [2] festgestellt. Anschließend wird das verwendete Mapping durch Rückprojektion der Punkte auf die Lichtschnittebene korrigiert. Dieses Korrekturverfahren kann allerdings nur bei dem stereoskopischen Aufbau benutzt werden.

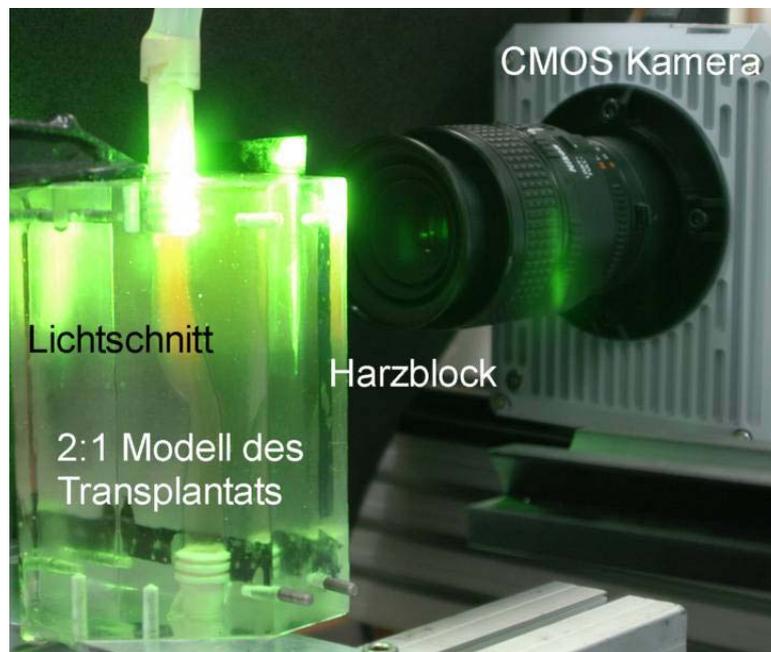


Abb. 1: Modell des Transplantats

Ergebnisse

In Abb. 2 erkennt man, dass sich die Position der Gebiete hoher Strömungsgeschwindigkeit bei einer Erhöhung des Durchfluss kaum verändern – nur das absolute Niveau erhöht sich entsprechend. Das Gebiet mit den höchsten Geschwindigkeiten ist beim höheren Volumenstrom in y -Richtung etwas weiter gestreckt. Die out-of-plane Komponente (w) ist in Abb. 3 dargestellt. Hier wird deutlich wie stark dreidimensional sich die Strömung bei höherem Volumenstrom ausprägt. Speziell im unteren Bereich sind die großen w -Komponenten erkennbar. Im oberen Bereich wird die Drallströmung am Austritt des Transplantats deutlich sichtbar. Aufgrund der starken Strömungsgradienten an den Gefäßwänden, sowie in der Nähe des Knicks und der daraus resultierenden hohen Schubspannung kann es zu Blutschädigungen kommen [3]. In den Bereichen sehr niedriger Geschwindigkeiten (links unten) könnten Blutverklumpungen bzw. Verengungen des Gefäßes entstehen [4].

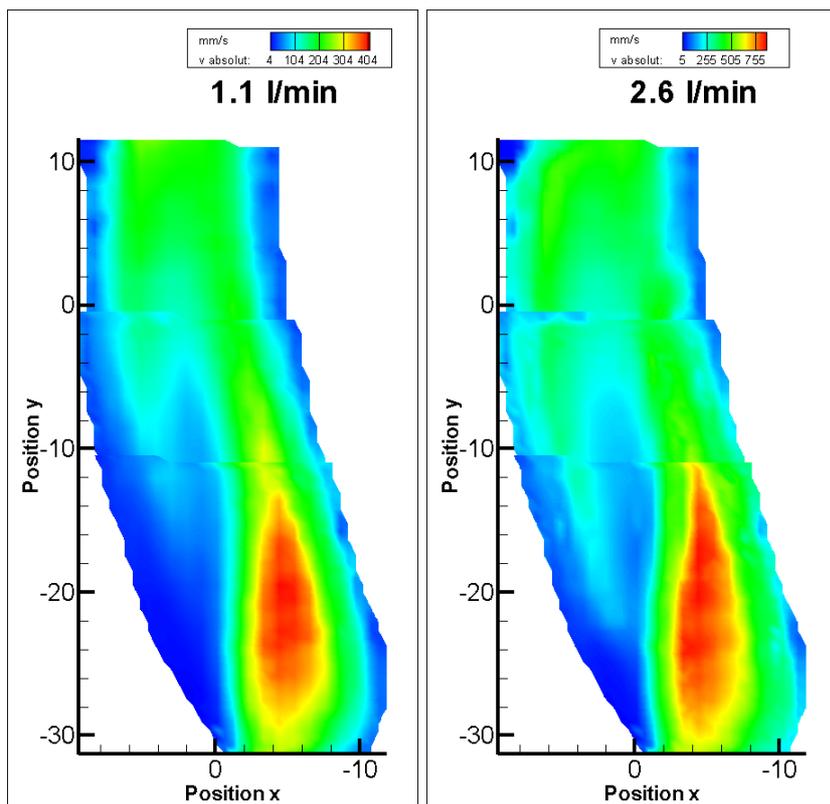


Abb. 2: Verteilung der Absolutgeschwindigkeit im Messquerschnitt bei unterschiedlichen Volumenströmen

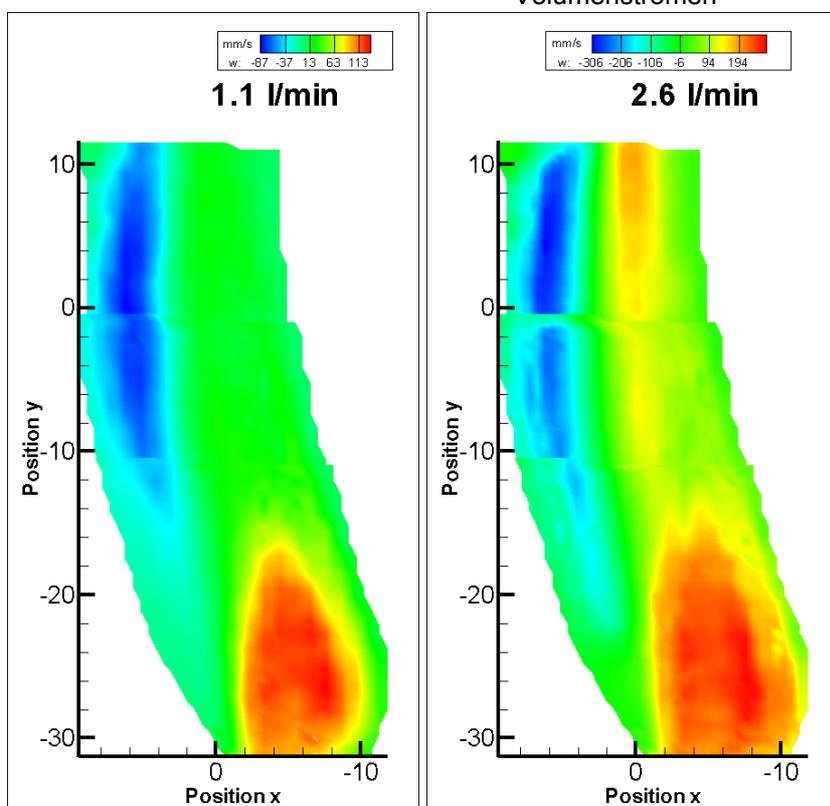


Abb. 3: Verteilung der w-Komponente im Messquerschnitt bei unterschiedlichen Volumenströmen

48.4

Die HiSpeed Messungen wurden mit einer Messfrequenz von 1500 Hz durchgeführt, wobei die Laserpulse symmetrisch die einzelnen Kamerabilder beleuchten. Dadurch können verschiedene Korrelationsmethoden angewendet werden [5].

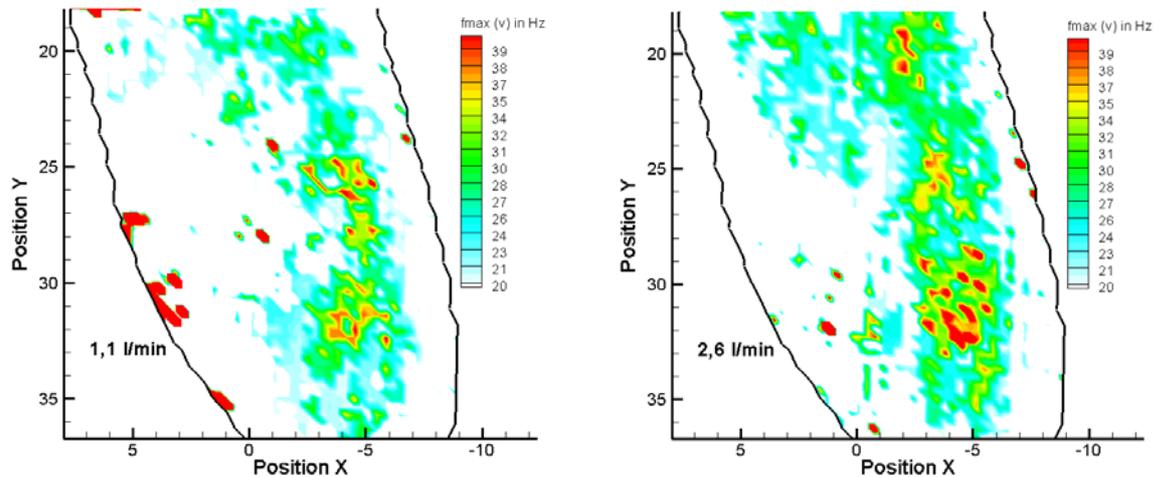


Abb. 4: Verteilung der Hauptfrequenz der v-Komponente bei unterschiedlichen Volumenströmen

Durch Frequenzanalyse der v-Komponenten der HiSpeed PIV Daten kann eine örtliche Verteilung der Hauptfrequenzen (Abb. 4) erstellt werden. Bei Erhöhung des Durchflusses werden in den Bereichen mit hohen Absolutgeschwindigkeiten die Schwankungen höherfrequent und die örtliche Ausbreitung der niederfrequenten Schwankungen nimmt zu. Die Auswirkungen der erhöhten Turbulenz und der höheren Schwankungsfrequenzen hinsichtlich der Blutschädigung müssen jedoch erst detailliert untersucht werden.

Schlussfolgerung

Durch die Kombination von experimenteller Strömungsmesstechnik mit modernen MRT Verfahren kann die Qualität des Strömungszustandes in einem Transplantat, welches bereits einem Patienten eingesetzt wurde, überprüft werden. Die Kombination aus stereoskopischen 3C- und zeitlich hochaufgelösten 2C-Strömungsvektoren gibt Aufschluss über Regionen in denen mögliche Blutschädigung, Stenosenbildung oder Blutverklumpung auftreten können. Des Weiteren sind die Messdaten zur Validierung von CFD Codes unverzichtbar.

Literatur

- [1] Hartley, R.; Sturm, P.:
Triangulation, GE-CRD, Schenectady, NY, Lifa-Inria, France, Grenoble
- [2] Raffel, M. et al.:
Recording and Evaluation Methods of PIV Investigations on a Helicopter Rotor Model, Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon 2004
- [3] Giersiepen, M.:
Estimation of Shear Stress-Related Blood Damage in Heart-Valve Prosthesis, Int. Artif. Organs, 13(5) 300-306, 1990
- [4] Strony, J.:
Analysis of shear stress and hemodynamic factors in a model of coronary artery stenosis and thrombosis, Am. J. Physiol. 265, 1993
- [5] Hain, R.; Kähler, C.:
Advanced Evaluation of Time-Resolved PIV Image Sequences, 6th International Symposium on PIV, Pasadena, USA, 2005