



MEDVIS 3D – Echtzeitvisualisierung von Gehirnregionen

J. Dirnberger, M. Giretzlehner, J. Trenkler¹, F. Fellner²

¹ Primarius der Radiologie WJ Landesnervenklinik, Linz

² Primarius der Radiologie AKh Linz, Linz

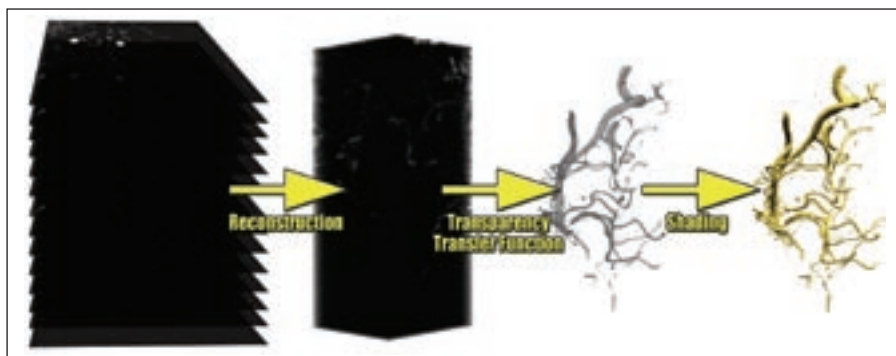


Abbildung 1: Rekonstruktion und Visualisierung des 3D-Volumens aus medizinischen Schichtdaten

Motivation

Das Projektziel des auf 3 Jahre angelegten Forschungsprojekts MEDVIS 3D ist die Entwicklung eines universellen Softwarewerkzeugs zur einfachen und schnellen 3D-Rekonstruktion von multimodalen medizinischen Bilddaten, also Magnetresonanz-, Angiographie- und Computertomographiedaten. Basierend auf den Grauwertschichtdaten dieser bildgebenden Verfahren kann die Software das aufgenommene Volumen in 3D rekonstruieren und visualisieren (siehe Abb. 1). Dies ist allerdings auch bei vielen anderen kommerziellen Systemen möglich und bietet noch keinen offensichtlichen Mehrwert der Software. Die Stärke von MEDVIS 3D liegt in der zusätzlichen Bestimmung von Maßzahlen über das Gesamtvolumen oder über Teilvolumina. Der Arzt kann diejenigen Areale in denen er eine krankhafte Veränderung vermutet, so genannte Regions Of Interest (ROI), markieren, vom restlichen Volumen abtrennen und verschiedene Maßzahlen wie Durchmesser, Volumen, Schnittflächen, etc. berechnen und speichern lassen. Dies ist in Echtzeit durch direkte Interaktion mit dem 3D Volumen möglich. Dadurch wird einerseits die Diagnose unterstützt, sowie eine qualitative Bewertung des Therapiefortschritts ermöglicht. Weiters sollen auch telemedizinische Aspekte wie z. B. die Möglichkeit der Ferndiagnostik berücksichtigt werden.

Das System kann Bilddaten von Patienten aus anderen Krankenhäusern, die via E-Mail oder einem anderen geeigneten Internetprotokoll übermittelt wurden einbinden und das entsprechende Volumen binnen weniger Sekunden rekonstruieren. Der Spezialist kann so am anderen Ende der Welt die Situation und das Risiko der vorhandenen Gefäßanomalien rasch beurteilen und dem Fragesteller in kurzer Zeit adäquate Ratschläge zusammen mit 3D-Bilddaten übermitteln.

Datenzugriff

Der Zugriff auf die Schichtdaten erfolgt über das internationale DICOM-Standardformat (siehe [EscottRubinstein, 2004]) wobei ein eigener DICOM Receiver integriert ist, der es ermöglicht, auf jedem berechtigten PC im Krankenhausnetzwerk die gewünschten Bilddaten vom PACS (Picture Archiving and Communication System) zu empfangen. Weiters wurde eine Anbindung an XVIEW-konforme Datenbanken geschaffen, mit der auf bereits lokal vorhandene Patientendaten zugegriffen werden kann.

Die Schichtdaten werden eingelesen und zu einem 3D Volumen zusammen-

gesetzt. Die einzelnen Intensitätswerte des 3D-Volumens (Voxel) können sequentiell in eine binäre Datei gespeichert und so zu jedem beliebigen Zeitpunkt mit der Software weiterbearbeitet werden, ohne erneut auf die zugrunde liegenden Bilddaten zugreifen zu müssen.

Die 3D-Visualisierungen können ebenfalls als Grafikdateien im JPEG-Format gespeichert oder als Grafik in den Zwischenspeicher kopiert werden.

Funktionalität

Nach über zwei Jahren Entwicklungszeit ist eine klinisch einsetzbare Version verfügbar, die von unseren medizinischen Partnern verwendet und evaluiert wird. Durch regelmäßiges Feedback der Ärzte wird die Software immer weiter verbessert und verfeinert, um dem Arzt im täglichen Ablauf wertvolle Informationen möglichst rasch zugänglich zu machen. Im Folgenden werden die einzelnen Funktionalitäten der aktuellen Version der Software näher erläutert. Die Grundfunktionalität der Visualisierung und Interaktion mit dem 3D-Volumen wurde in eine eigene Softwarebibliothek mit dem Namen REVOLTE ausgelagert. Diese Bibliothek wurde in C++ unter Nutzung der OpenGL-Grafikbibliothek implementiert und steht samt Sourcecode allen Interessenten zur Evaluierung zur Verfügung. Der Funktionsumfang beinhaltet zurzeit folgende Standardfunktionen der 3D-Visualisierung:

- Aufbau einer maßstabsgetreuen 3D-Rekonstruktion aus Schichtbildern
- Automatische Berechnung des Gradientenvolumens
- 3D-Visualisierung des rekonstruierten Volumens auf OpenGL-konformer Grafikhardware

Autoren: J. Dirnberger, M. Giretzlehner, J. Trenkler, F. Fellner
Titel: MEDVIS 3D – Echtzeitvisualisierung von Gehirnregionen
In: Jäckel (Hrsg.) Telemedizinführer Deutschland, Bad Nauheim, Ausgabe 2009
Seite: 226-230



Bildgestützte Diagnostik, Teleradiologie

- Einfärben der Grauwerte mit Farbpalette und Alphawerten (Transparenz)
- Echtzeitänderungen der Einfärbung und Visualisierung mittels 1D- und 2D-Transferfunktionen
- Parallele Visualisierung von 2D-Volumina mittels 2D-Transferfunktion
- Automatische Generierung von 2D-Transferfunktionen mittels Intensitäts-Clustering
- Manuelles Segmentieren durch freie Definition eines Auswahlpolygons
- Automatisches Segmentieren mittels Region-Growing von einem Startvoxel aus
- Distanzmessung zwischen zwei Volumenpunkten
- Schnelles Wegschneiden von Volumenteilen (Radierer)
- Volumen- und Durchmesserberechnung von (Sub-)volumina
- Orthogonale Schnitt-Ansichten in X-,Y- und Z-Richtung
- Clipping (Abschneiden) von Volumenteilen in Richtung der Hauptachsen
- Darstellung von Beleuchtungseffekten (Shading)
- Persistierung von 3D-Volumen als Binärdateien im RAW Modus
- Automatische Bereinigung von 3D-Artefakten

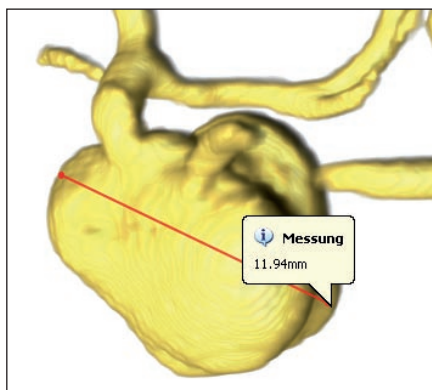


Abbildung 2: Distanzmessung im 3D-Volumen

wurden großen Wert in der Entwicklung gelegt. So kann das Volumen frei bewegt, die angezeigte Auflösung und damit die Darstellungsperformance an die gegebene Hardware angepasst und der Sichtbarkeitsbereich der verschiedenen Dichteinformationen (Transferfunktion) einfach mit der Maus oder über Schieberegler verändert werden. Zusätzlich können einzelne DICOM-Schichten zusätzlich zum Volumen eingeblendet werden (siehe Abb. 3). Weiters bietet die Benutzerschnittstelle Zugriff auf alle oben beschriebenen Funktionen der REVOLTE-Bibliothek, um das 3D-Volumen zu modifizieren. Neben die-

sen Standardfunktionen wurden folgende Erweiterungen implementiert, um ein flüssiges Arbeiten mit dem 3D-Volumen zu ermöglichen:

- Anzeige und Verwaltung von DICOM-Bildserien
- Umfangs- und Flächeninhaltsberechnung in Einzelschichtdaten
- Manuelle Modifikation der Transferfunktion
- Partielle Rekonstruktion von 3D-Volumina
- Ein- und Ausblenden des Gesamtvolumens
- Anbindung an Materialdatenbank
- Anbindung an XVIEW-Datenbank (lokales DICOM-Archiv)
- Verwaltung der Berechnungsergebnisse in CSV-Tabellen

Anzeige und Verwaltung von DICOM-Bildserien

Um die zugrunde liegende Bildserien komfortabel verwalten zu können, bietet MEDVIS 3D eine komplettes DICOM-Managementmodul mit Patientenverwaltung und leistungsstarker Caching Funktionalität an. Damit können beliebig viele

Zusätzlich wurde eine Undo-Funktion implementiert, mit der beliebige Segmentierungsschritte rückgängig gemacht werden können. Dies benötigt zwar eine große Menge an Arbeitsspeicher während der Laufzeit, ist aber, wie die Evaluierungsphase gezeigt hat, für ein flüssiges Arbeiten unbedingt notwendig.

Benutzerschnittstelle

Das Hauptaugenmerk der Entwicklung wurde auf eine möglichst einfache Bedienbarkeit der Software gelegt. Das System teilt sich in 2 Hauptbereiche:

1. 2D-Schichtinformation der DICOM-Bilddaten mit dazu gehöriger Patienten- und Bildserienverwaltung
2. 3D-Ansicht auf das rekonstruierte Volumen mit vielfältigen Interaktions- und Vermessungsmöglichkeiten

Vor allem auf eine flexible Interaktionsmöglichkeit mit dem 3D-Volumen

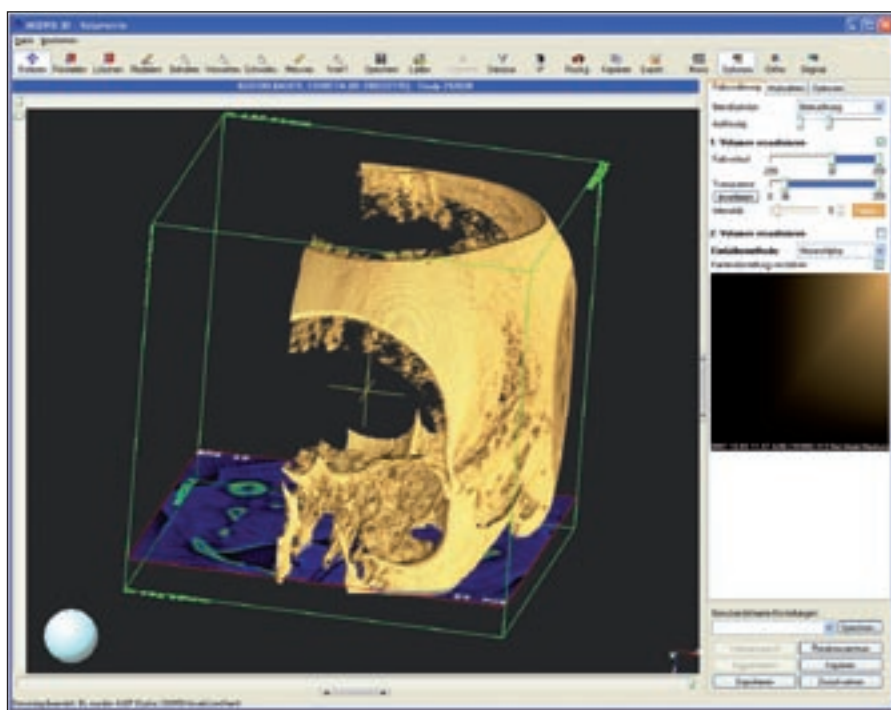


Abbildung 3: Partielles 3D-Volumen mit eingeblendeter Abmessungsbox und DICOM-Schichtinformation

2.6

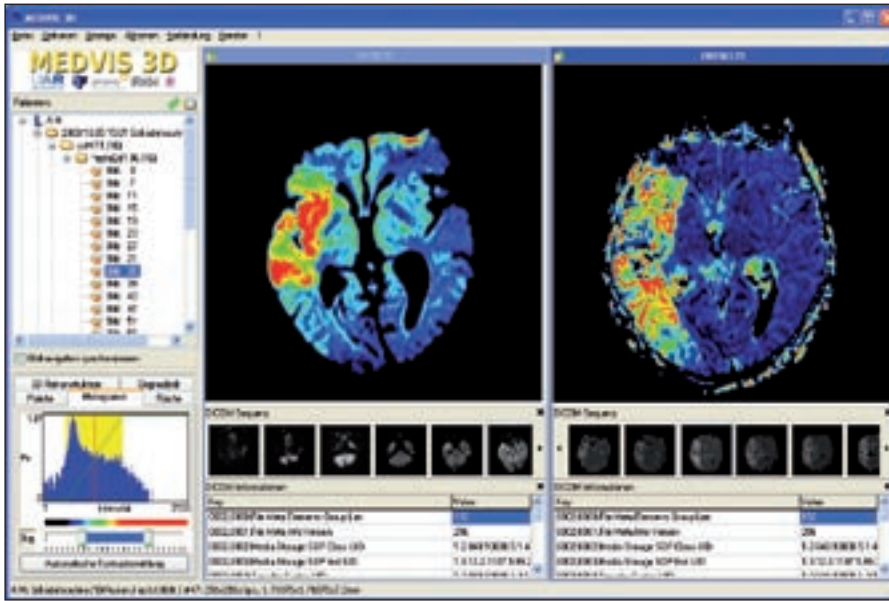


Abbildung 4: Integrierter DICOM-Manager mit paralleler Ansicht von 2 Bildserien, Miniaturvorschau, DICOM Header Anzeige, Histogramm und Einfärbung mittels Farbpalette (links: Diffusions-MR, rechts: MTT)

Schichten auszuwählen und nur diese zur Rekonstruktion des Volumens heranzuziehen. Zusätzlich wurde die Einschränkung auf einen frei wählbaren rechteckigen 2D-Bereich auf jeder Schicht realisiert, wodurch die Größe der entstehenden 3D-Volumina und dadurch die Rekonstruktions- und Visualisierungsperformance wesentlich erhöht wird.

Ein- und Ausblenden des Gesamtvolumens

Um die räumliche Information über die Lage des Aneurysmas nicht zu verlieren, wurde in MEDVIS 3D die Möglichkeit geschaffen, während des Segmentierungsprozesses das Gesamtvolumen ein- bzw. auszublenden. Das Originalvolumen wird dazu im Speicher gehalten, was allerdings eine erhebliche Erhöhung des Speicher- verbrauchs zur Laufzeit nach sich zieht.

Verwaltung der Berechnungsergebnisse in CSV-Tabellen

Um die berechneten Maßzahlen wie Volumen und Packungsdichte geordnet ablesen zu können, wurde ein Tabellen-Editor in MEDVIS 3D integriert. Dieser speichert die Daten zum jeweiligen Patienten in standardisierten CSV (Comma Separated Values) Dateien und übernimmt die Maßzahlen direkt vom 3D-Volumen. So können die Maßzahlen automatisiert in Fremdsysteme übertragen werden, ohne auf manuelles und oft fehlerbehaftetes Abtippen der Werte zurückgreifen zu müssen.

Anbindung an Materialdatenbank

Um die Ergebnisse der Volumenberechnung für den klinischen Einsatz und die qualitative Bewertung von Operationsergebnissen bei Aneurysmen-Operationen verwenden zu können, wurde eine Anbindung von MEDVIS 3D an die bestehende Materialdatenbank unserer medizinischen Partner geschaffen. Diese Schnittstelle liest automatisch, aufgrund der in den DICOM-Schichtbildern enthaltenen Patienten- und Interventionsdaten die während einer Operation im Aneurysma abgesetzten Materialien (Coils) aus der Materialdatenbank aus und berechnet deren Gesamtvolumen. Dieses wird mit dem ermittelten Volumen des segmentierten Aneurysmas in Relation gestellt und die

2.6

Bildserien aus Verzeichnissen gelesen und angezeigt werden. Miniaturansichten aller Bilder werden im Cache abgelegt und können bei erneutem Öffnen einer Serie ohne neuerliches Auslesen aller Schichtdaten angezeigt werden. Lästiges Warten bis die gesamte Bildserie geladen ist entfällt damit, allerdings steigt der Speicherbedarf auf der lokalen Harddisk.

Zusätzlich können DICOM-Bilder in voller Auflösung angezeigt werden. Um Intensitätsunterschiede besser visualisieren zu können, ist die Unterlegung mit verschiedenen Farbpaletten möglich (siehe Abb. 4).

MEDVIS 3D bietet überdies die Möglichkeit, 2 unterschiedliche Bildserien parallel zu betrachten und die Anzeige synchron zu halten. Wechselt man also in Bildserie 1 das angezeigte Bild, so wird auch in Bildserie 2 die entsprechende DICOM-Schicht aufgrund der Positionsinformation im DICOM Header gesucht und automatisch angezeigt.

Umfangs- und Flächeninhaltsberechnung in Einzelschichtdaten

Um die Evaluierung der Volumenberechnung von Schlaganfallarealen zu unterstützen, wurden eine Zusatzfunktion in die 2D-Darstellung von Schichtdaten eingebaut, mit deren Hilfe es einfach und schnell möglich ist, Umfänge und Flächen-

inhalte zu ermitteln. Durch die Berechnung der Flächeninhalte von Infarktarealen auf den einzelnen Schichtdaten sowie der Information über die jeweilige Schichtdicke lässt sich auf das Volumen des Infarkts rückschließen. Diese Werte werden dann mit den von MEDVIS 3D automatisch rekonstruierten Volumenwerten verglichen, um so Aussagen über die Qualität der Volumenberechnung treffen zu können.

Manuelle Modifikation der Transferfunktion

Basierend auf der Evaluierung alternativer Bibliotheken wurde die Möglichkeit der manuellen Modifikation der Transferfunktion zur Einfärbung des 3D-Volumens geschaffen. Durch Platzierung von „Hotspots“ direkt auf der Abbildung der Transferfunktion hat der Arzt nun die Möglichkeit, interessante Intensitätsbereiche speziell einzufärben um sie so vom restlichen Gewebe abheben zu können (siehe Abb. 5).

Partielle Rekonstruktion von 3D-Volumina

Aufgrund von immer höher Auflösungen der Volumendaten durch neue Modalitäten und daraus resultierenden verlängerten Rekonstruktionszeiten wurde eine Möglichkeit geschaffen, aus einer gesamten Bildserie eine Teilmenge von

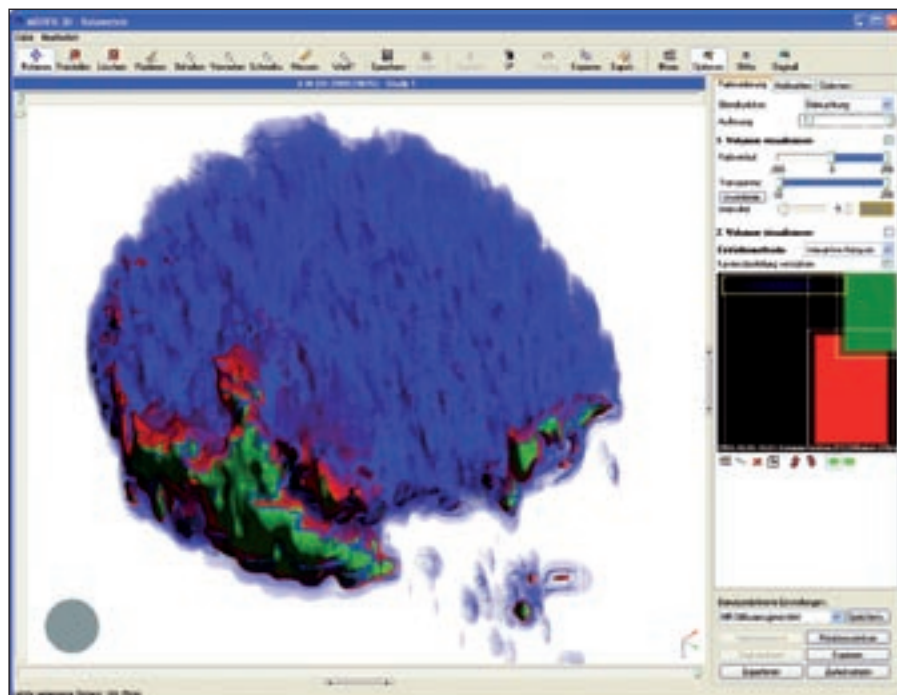


Abbildung 5: Manuelle Transferfunktion mit Diffusionsgewichteter MR Serie. Hochintensive Bereiche können ganz einfach mit farbigen „Hotspots“ markiert werden.

so errechnete Packungsdichte ausgegeben. Die erreichte Packungsdichte von Coiling-Operationen kann Aufschluss über die Qualität des Operationsergebnisses geben (siehe [Sluzewski, 2004]) und soll mittels langfristiger Studien auf ihre Aussagekraft für Qualitätssicherungsmaßnahmen hin überprüft werden.

Anbindung an XVIEW Datenbank

Um schneller an die Informationen der lokal archivierten DICOM-Schichtbilder zu gelangen, wurde eine Anbindung an das XVIEW System implementiert, welches die lokale Archivierung von DICOM-Bildern übernehmen kann. Dadurch entfällt das langwierige Durchsuchen aller lokal gespeicherten DICOM-Dateien und der Benutzer kann innerhalb weniger Sekunden alle verfügbaren DICOM-Bildserien einsehen.

Telemedizinfähigkeit

Die Software ist auf jedem MS Windows™ PC mit OpenGL konformer Grafikkarte installierbar und kann so weltweit eingesetzt werden. Der Datenimport erfolgt über das ebenfalls standardisierte DICOM Format und bietet so größtmögliche Einsetzbarkeit. Unsere

Forschungspartner erhalten volles Nutzungsrecht für die Software und sind aktiv in der Weiterentwicklung eingebunden. Produktneuerungen und Updates werden automatisch über das Internet heruntergeladen und installiert. So bleibt die Software wartungsfrei immer auf dem neuesten Stand, wobei die lokal gespeicherten Daten immer erhalten bleiben.

Die Konsultation von externen Experten (second opinion) über das Internet wird durch dieses System stark vereinfacht. Selbst wenn das System vor Ort nicht installiert ist, so reicht die Übermittlung der anonymisierten Bilddaten an den Experten. Dieser kann auf seiner lokalen MEDVIS 3D Installation das Volumen in wenigen Sekunden rekonstruieren und sich so sehr rasch einen Überblick über den physiologischen Zustand des Patienten verschaffen. Alle so generierten 3D-Ansichten können als JPEG-Grafik oder als RAW-3D-Volumen gespeichert und an den Fragesteller zurückgeschickt werden.

Ausblick

Als Zukunftsperspektive haben die Projektpartner die Integration der rekonstruierten 3D-Geometriedaten in ein Computersimulationsmodell geplant. Damit soll

der Blutfluss des konkreten Patienten im Gehirn simuliert werden, um so früher als bisher Risiken des Patienten abschätzen zu können. Allen voran sollen dadurch das Schlaganfallrisiko sowie adäquate Therapiemaßnahmen ermittelt und überprüft werden können.

Als erster Schritt in diese Richtung wurden mehrere Algorithmen ([William, 1987], [Wong, 1998]) zur Extraktion der Oberflächen der Gefäßstruktur evaluiert und in MEDVIS 3D implementiert. Diese Algorithmen ermöglichen die Erzeugung eines 3D Dreiecksgitters, das die Grenzfläche zwischen hohen und niedrigen Dichtewerten (Isofläche, siehe [Hansen, 2005]) repräsentiert. Im Falle von Rotationsangiographie-Schnitten des Gehirns liefert diese Extraktion die Oberfläche der Blutgefäße. Dieses Gitter soll als Basis für eine Computersimulation dienen, die den Blutfluss durch den Gefäßbaum und, falls vorhanden, durch ein Aneurysma simuliert. Dabei können Druck und Flussgeschwindigkeit an verschiedenen Stellen berechnet werden, um so eine bessere Abschätzung für das Risiko von Gehirnblutungen zu errechnen.

Auf die Einbringung virtueller Stents (Drahtschläuche, die die Gefäßwand stützen) in die Simulation ist in weiterer Zukunft denkbar. Dadurch könnten neuartige Stentdesigns virtuell erprobt werden, um ihre Wirksamkeit im Hinblick auf die Veränderung des Blutflusses hin zu bewerten.

Projektpartner

Die Software wird von der Forschungsabteilung Medizin-Informatik der RISC Software GmbH in Hagenberg in Zusammenarbeit mit der Johannes Kepler Universität Linz sowie von zwei führenden Radiologie-Instituten des Landes Oberösterreich, dem Allgemeines Krankenhaus Linz und der Wagner Jauregg Landesnervenklinik der GESPAG, entwickelt und im klinischen Einsatz evaluiert. Das Forschungsprojekt wird mit Mitteln des Landes Oberösterreich, der GESPAG und der Europäischen Union finanziert.

Eine Teilnahme am Projekt und eine damit verbundene Installation und Nutzung der Software ist jederzeit nach Kontaktaufnahme mit dem Autor möglich.



Zusammenfassung

Die Software MEDVIS 3D soll in erster Linie für die schnelle und genaue Erstdiagnose von Aneurysmen und Infarktarealen bei Schlaganfallpatienten Anwendung finden. Durch den Einsatz des Softwarewerkzeugs versprechen sich die Projektpartner eine deutlich verkürzte Diagnosezeit, was zu einer rascheren und effizienteren Behandlung von Schlaganfällen führt. Zusätzlich kann aufgrund der exakten räumlichen Darstellung und Vermessung des Infarktareals die Therapie- und Interventionsplanung wesentlich genauer und schneller als bisher durchgeführt werden.

Kontakt

Johannes Dirnberger
Dipl.-Ing. (FH)
RISC Software GmbH
Forschungsabteilung
Medizin-Informatik
Softwarepark 35
A-4232 Hagenberg
Tel.: +43 (0) 72 36 1 3 34 36 72
johannes.dirnberger@risc.uni-linz.ac.at
www.medvis3d.at

Literatur

- Sluzewski M, van Rooij WJ, Slob MJ, et al. The relation between aneurysm volume, packing, and compaction in 145 coiled cerebral aneurysms. *Radiology* 2004; 231 :653 –58
- E. J. Escott and D. Rubinstein; Informatics in Radiology (infoRAD): Free DICOM Image Viewing and Processing Software for the Macintosh Computer: What's Available and What It Can Do for You; *RadioGraphics*, November 1, 2004; 24(6): 1763 - 1777.
- Tim Poston, Tien-Tsin Wong and Pheng-Ann Heng; Multiresolution Isosurface Extraction with Adaptive Skeleton Climbing; *Computer Graphics Forum*, Vol. 17, No. 3, September 1998, pp. 137-148.
- William E. Lorensen, Harvey E. Cline: Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In: *Computer Graphics*, Vol. 21, Nr. 4, Juli 1987, S. 163-169
- Hansen, Charles D., Johnson, Chris R.: *The Visualization Handbook*. Elsevier Academic Press, 2005, ISBN 0-12-387582-X, S. 39ff