

CHIRURGISCHE ALLGEMEINE

CHAZ 6/2008, S. 269-278

ZEITUNG FÜR KLINIK UND PRAXIS

Sonderdruck

Neue Wege in der Behandlung von Aortenerkrankungen

**Computerunterstützte Patientenselektion,
Therapieplanung und Nachsorge**

Neue Wege in der Behandlung von Aortenerkrankungen

Computerunterstützte Patientenselektion, Therapieplanung und Nachsorge

Hardy Schumacher¹, Dittmar Böckler², Drosos Kotelis², Tim Weber⁴, Fabian Rengier³, Hendrik von Tengg-Kobligk³

Heute ist die multiplanare Bildgebung aortaler Pathologien für den Kliniker von großer Bedeutung. Dabei ist die Aorta in ihrer Gesamtheit als ein Organ zu betrachten, d.h. eine Darstellung von der Aortenklappe bis zum Leistenband ist essentiell und zwingend erforderlich. Anforderungen an die Bildgebung umfassen die Verifizierung und Dokumentation einer klinischen Verdachtsdiagnose und bilden die Grundlage für die Indikationsstellung, die individuelle Wahl des Therapieverfahrens, die präoperative Planung sowie für die lebenslang durchzuführende Nachsorge nach konventionellen und endovaskulären Operationen. Der CHAZ-Beitrag beschreibt aus Sicht des Therapeuten in einer Klinik der Maximalversorgung die Wertigkeit und die Anforderungen an die Bildgebung und Bildnachverarbeitung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aortenpathologien.



Abb. 1 Albert Einstein und Thomas Mann

Im Jahre 1955 starben die beiden berühmten deutschen Nobelpreisträger Albert Einstein und Thomas Mann nahezu zeitgleich an einem rupturierten abdominellen Aortenaneurysma bzw. Iliakalaneurysma (Abb. 1). Zur damaligen Zeit gab es keinerlei Möglichkeit der bildgebenden präoperativen Diagnostik. Es existierte weder Ultraschall noch eine Schnittbildgebung mit Hilfe der Computertomographie oder Magnetresonanztomographie zur Diagnosesicherung und Therapieplanung. Die genaue Diagnose wurde wie bei Thomas Mann oft erst post mortem gestellt [12].

¹ Klinik für Gefäßchirurgie, Klinikum Hanau

² Klinik für Gefäßchirurgie, Universitätsklinikum Heidelberg

³ Radiologie, Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg

⁴ Abteilung für diagnostische und interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Heidelberg

Heute ist die multiplanare Bildgebung aortaler Pathologien für den Kliniker von großer Bedeutung. Dabei ist die Aorta in ihrer Gesamtheit als ein Organ zu betrachten, d.h. eine Darstellung von der Aortenklappe bis zum Leistenband ist essentiell und zwingend erforderlich.

Anforderungen an die Bildgebung (Abb. 2) umfassen die Verifizierung und Dokumentation einer klinischen Verdachtsdiagnose und bilden die Grundlage für die Indikationsstellung, die individuelle Wahl des Therapieverfahrens (konservativ, operativ,

- 1 Diagnostik
- 2 Patientenselektion
- 3 Operationsplanung
- 4 Operationsdurchführung
- 5 Nachsorge/Fehleranalyse
- 6 funktionelle Bildgebung
- 7 Optimierung und Entwicklung neuer Endoprothesen

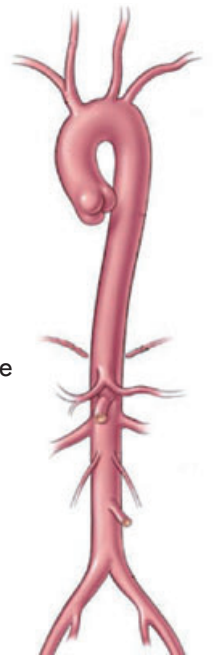


Abb. 2 Interaktion Radiologe/Gefäßchirurg: Anforderung an die Bildgebung für das Organ Aorta: 1–7

Seit nunmehr 15 Jahren werden neben der klassischen offenen OP minimal-invasive Eingriffe – oft auch in Kombination – durchgeführt.

Tabelle 1 Erkrankungen der Aorta. Ätiologie und Phänotypen

Aneurysma	
<input type="checkbox"/> Kongenital	Turner-, Menkes-Syndrom
<input type="checkbox"/> Bindegewebserkrankung	Marfan-, Ehlers-Danlos-Syndrom
<input type="checkbox"/> Degenerativ	atherosklerotisch
<input type="checkbox"/> Infektiös (mykotisch)	bakteriell, Pilze, Syphilis
<input type="checkbox"/> Autoimmun (Arteriitis)	Takayasu, Behçet, Sarkoidose
<input type="checkbox"/> Post-Dissektion	idiopathisch, traumatisch
<input type="checkbox"/> Post-stenotisch	Coarctatio
<input type="checkbox"/> Pseudoaneurysma	Trauma, Anastomosenruptur
<input type="checkbox"/> Inflammatorisch	IAAA
Dissektion	
<input type="checkbox"/> Klassisch	Stanford A und B
<input type="checkbox"/> Sonderformen	IMH/PAU
Verschlusskrankungen	Leriche
Klappenvitien	Stenose, Insuffizienz

interventionell, Hybridverfahren), die präoperative Planung (insbesondere vor endovaskulärer Therapie) und für die lebenslang durchzuführende Nachsorge nach konventionellen und endovaskulären Operationen. Der folgende Übersichtsartikel beschreibt aus Sicht des Therapeuten in einer Klinik der Maximalversorgung die Wertigkeit und die Anforderungen an die Bildgebung und Bildnachverarbeitung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aortenpathologien.

Die Computertomographie ist mittlerweile über das Stadium der reinen axialen Schnittbildgebung hinausgewachsen

Die in den 1970er Jahren entwickelte Computertomographie ist mittlerweile über das Stadium der reinen axialen Schnittbildgebung (ehemals „computed axial tomography“ = CAT Scan) hinausgewachsen. Durch die Vielzahl der in den letzten drei Jahren installierten Multislice-Computertomographie (MSCT)-Geräten mit 16 Zeilen bis hin zu 320 Zeilen haben sich die Möglichkeiten der nicht-invasiven Bildgebung für die präoperative Planung gewandelt. Routinemäßig können heute hochaufgelöste Bilder mit sogenannten isotropen Voxeln von Submillimeter Kantenlänge akquiriert und rekonstruiert werden. Dies hat eine große Datenmenge für eine Untersuchung des Abdomens und des Thorax zur Folge. Um diese Rohdaten, primär als axiale Schichten, optimal nutzen zu können, bedarf es

spezieller Workstations (Hochleistungs-Computer), die von verschiedenen Herstellern angeboten werden und eine softwareunterstützte Bildnachverarbeitung (sog. Image Postprocessing) ermöglichen. Aktuell sind die dreidimensionalen (3D) Rekonstruktionstechniken wie die Maximale Intensitätsprojektion (MIP), die Multiplanare Reformatierung (MPR) in axialer, koronarer, sagittaler, schräger (engl. oblique) sowie gekrümmter (engl. curved) Ausrichtung, die Volumendarstellung (engl. volume rendering, VR) und die Segmentierung anatomischer Strukturen ein fester Bestandteil der präoperativen MSCT-Untersuchung.

Aber nicht nur die diagnostischen Möglichkeiten haben sich gewandelt, auch die therapeutischen Optionen haben sich mit der Einführung der sogenannten endovaskulären Techniken erweitert. Seit nunmehr 15 Jahren werden neben der klassischen offenen Chirurgie die minimal-invasiven Techniken auch in Kombination – als sogenannte aortale Hybrideingriffe – durchgeführt. Doch auch hier steht die Entwicklung erst am Anfang und wird in den kommenden Jahren weitere technologische Innovationen erfahren, insbesondere durch Einführung der Sidebranch-Technologie, d.h. Endoprothesen mit Seitenästen, für komplexe Aneurysmen des Aortenbogens und der thorako-abdominellen Aorta.

Insbesondere Planung und Nachsorge endovaskulärer Aortenrekonstruktionen stellen sehr hohe Anforderungen an den Diagnostiker und Therapeuten

Die moderne Bildgebung, insbesondere die nicht-invasive Schnittbildgebung, hat sich in den letzten Jahren dramatisch weiterentwickelt und gilt gegenwärtig als Goldstandard für die prä- und postoperative Diagnostik und Therapieplanung aortaler Pathologien. Insbesondere die Planung und die Nachsorge endovaskulärer Aortenrekonstruktionen stellen sehr hohe Anforderungen an den Diagnostiker und Therapeuten. Aus der Vielzahl der bestehenden diagnostischen Modalitäten gilt es, die für die jeweilige Pathologie geeignete Untersuchungsmethode auszuwählen und für den Patienten individuell anzuwenden. Die Sonographie ist für das Screening und die Nachsorge infrarenaler Aneurysmen die Untersuchung der Wahl. Die transösophageale Echokardiographie und MRA werden mit hoher Sensitivität und Spezifität bei der Diagnostik, der intraoperativen Navigation von Endografts und

im Follow-up konservativ behandelter Patienten eingesetzt. Der Einsatz der MRA ist durch lange Untersuchungszeiten, Metallartefakte und limitierte Verfügbarkeit begrenzt. Die DSA hat ihre Rolle in der Diagnostik der Aortenpathologien gegenüber der CTA eingebüßt, behält aber derzeit ihre Domäne bei der intraoperativen Darstellung der Verankerungszonen von Endoprothesen. Der selektive Nachweis postoperativer Endoleckagen mit anschließender therapeutischer Embolisation ist ein weiteres Einsatzgebiet. Die CTA einschließlich der Bildnachverarbeitung (image post-processing) haben die Führungsrolle in der Bildgebung der Aorta übernommen.

Morphologie-basierte Patientenselektion: Typ I, II A und II B lassen sich optimal mit einer Bifurkationsendoprothese versorgen

Neben der Diagnosestellung ist die Morphologie infrarenaler Aortenaneurysmen ein wichtiges Selektionskriterium. Allenberg und Schumacher haben hierzu anhand einer morphometrischen prospektiven CT-Analyse ein therapieorientiertes Klassifikationssystem entwickelt, das eine präoperative Aussage über die Anwendbarkeit von Endografts im aortoiliakalen Abschnitt erlaubt (Abb. 4). Die Technologie der CTA hat sich in dem letzten Jahrzehnt dramatisch verbessert – sie ist mittlerweile das wesentliche Rückgrat der präoperativen Evaluation aortaler Pathologien. Die Bildgebung besitzt im Rahmen der endovaskulären Therapie aortaler Läsionen somit eine entscheidende Rolle.

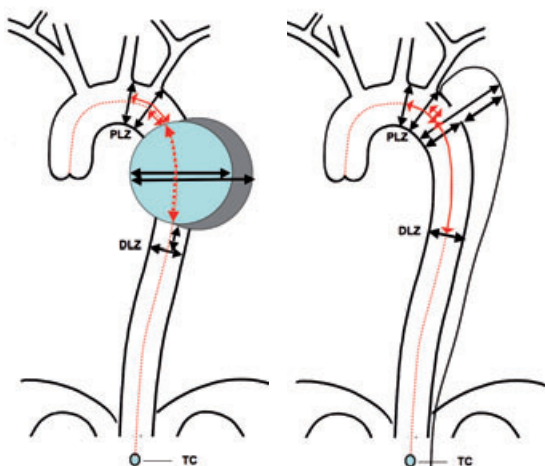


Abb. 3 Präoperative Visualisierung: Spezielle Fragestellungen

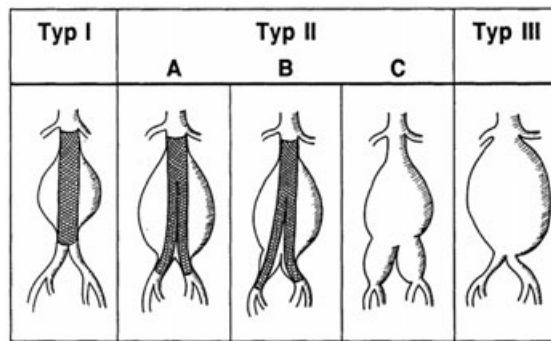


Abb. 4 Morphologische Klassifikation des AAA (Heidelberger Klassifikation nach Schumacher und Allenberg) zur Beurteilung einer potentiell endovaskulären Versorgung:

Typ I: Das Aneurysma ist auf den infrarenalen Abschnitt begrenzt. Sowohl der proximale wie der distale Hals sind >15 mm lang, um eine suffiziente Verankerung zu gewährleisten.

Typ II: Dieser Typ wird in drei Subtypen unterteilt. Allen Untergruppen ist die proximale Halslänge >15 mm gemeinsam. Die aneurysmatische Erkrankung setzt sich unterschiedlich weit nach distal auf die Aa. iliaca communes fort.

Typ IIA: Das AAA reicht an die Aortenbifurkation heran, die Iliakalgefäße sind nicht betroffen.

Typ IIB: Die Ausdehnung schließt die proximalen Abschnitte der Aa. iliaca communes ein.

Typ IIC: Die aneurysmatische Erweiterung reicht bis an die Iliakalbifurkation heran.

Typ III: Unabhängig von der distalen Ausdehnung fehlt ein suffizienter proximaler Hals.

Typ I, II A und II B lassen sich optimal mit einer Bifurkationsendoprothese versorgen. Typ II C ist nur dann endovaskulär zu therapieren, wenn zumindest unilateral eine A. iliaca interna okkludiert wird. Das Risiko für proximale oder distale Verankerungsleckagen steigt dabei jedoch. Die zentrale Bedeutung einer suffizienten proximalen Verankerungszone für eine potentielle Endograft-Implantation kommt hier erneut zum Tragen. Wichtige Informationen sind neben Durchmesser, einer Länge über 15 Millimetern, das Vorliegen von perirenalem Kalk und Thromben. Die morphologische Klassifikation des proximalen infrarenalen Aneurysmahalses durch White et al. [4] (die sog. Sydney-Klassifikation; Abb. 5) nimmt Einfluss auf die Beurteilung einer endovaskulären Ausschaltung. Auch hier zeigt sich eine enge Korrelation zwischen Endoleckagerate und Halsmorphologie.

In Abbildung 6 sind exemplarisch drei unterschiedliche Aneurysmamorphologien unter Berücksichti-

Die CT-Analyse ist mittlerweile das wesentliche Rückgrat der präoperativen Evaluation aortaler Pathologien.

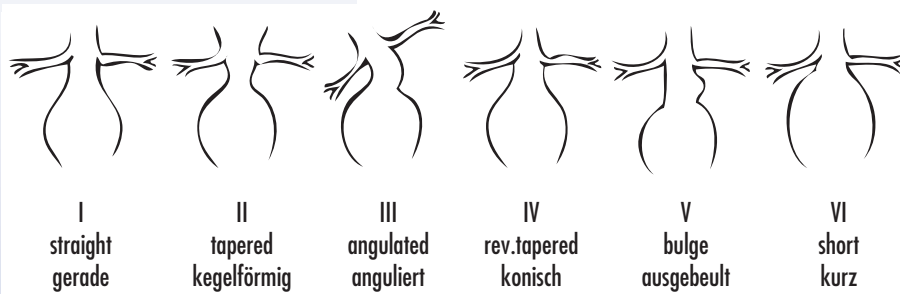


Abb. 5 Sydney-Klassifikation des proximalen Aneurysmahalses in sechs Typen. Die ideale Halskonfiguration repräsentiert lediglich Typ I. Nach [4].

gung der potentiellen Eignung für eine endoluminale Therapie dargestellt. Links ist die ideale Morphologie zur endovaskulären Aneurysmaausschaltung gezeigt, die mittige Abbildung zeigt zwar einen langen, aber stark angulierten Hals und torquierte Iliakalgefäße: Diese Morphologie ist bei Patienten mit hohem Risiko für die offene Operation oder bei Ruptur durch Endografts mit suprarenaler Fixierung minimal-invasiv versorgbar. Rechts ist ein AAA Typ II C mit teilthrombosiertem, kurzem, weitem Hals zu sehen, der als Grenzindikation für ein monoiliakales System einzustufen ist.

Eine morphologische Einteilung der thorakalen Aortenläsionen in die Typen I bis IV ist für die Operationstaktik und die zu wählende Operationstechnik sinnvoll, da die Rekonstruktionsverfahren vom erkrankten Segment determiniert werden. Typ-I-Läsionen können in der Regel nicht ohne Einsatz einer extrakorporalen Zirkulation durchgeführt werden. Bei Typ-II-Läsionen wird in der Regel der orthotope Bogenersatz im hypothermen Kreislaufstillstand mit Herzlungenmaschine verwendet, lediglich bei Risikopatienten besteht die Möglichkeit einer endovaskulären Hybridoperation. Typ-III- und -IV-Läsionen erfordern keine Herz-Lungen-Maschine, da keine kritische Unterbrechung der zerebralen Durchblutung stattfindet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Planung des Operationsverfahrens kann mit der vorgenommenen Einteilung je nach morphologischer Lokalisation der thorakalen Pathologie auch die Art der notwendigen Operation (konventioneller Prothesenersatz, alleinige endovaskuläre Rekonstruktion oder eine notwendige Hybridoperationen) gewählt werden.

Durch die Entwicklung von Endoprothesen hat sich das Behandlungskonzept der Aortenläsionen revolutionär verändert

Die enge kooperative Verzahnung von radiologischer und gefäßchirurgischer Kompetenz ist der grundlegende Baustein sowohl für eine erfolgreiche Operationsplanung als auch für eine Analyse des postoperativen Ergebnisses zur Behandlung unterschiedlichster Aortenpathologien, insbesondere des Aortenbogens. Durch die Entwicklung von Endoprothesen hat sich das Behandlungskonzept der Aortenläsionen revolutionär verändert und verändert sich stetig weiter. Die Computertomographie ist für die präoperative Planung längst über das Stadium der einfachen Diagnostik hinaus. Durch softwareunterstützte Bildnachverarbeitung besitzen wir heute Möglichkeiten der virtuellen Operationsplanung, der interaktiven Bildgebung, der Telemanipulation, der Robotik und der Navigation. Dies bringt zukünftig tief greifende Veränderungen des chirurgischen und radiologischen Arbeitsplatzes mit sich. Das Leistungsprofil des Therapeuten wird sich dabei ebenfalls langfristig verändern.

Um das Potential moderner Workstations auszuschöpfen, sind neben einem Grundverständnis für die jeweilige Gefäßpathologie vor allem auch Kenntnisse moderner Bildgebung notwendig, Präoperati-

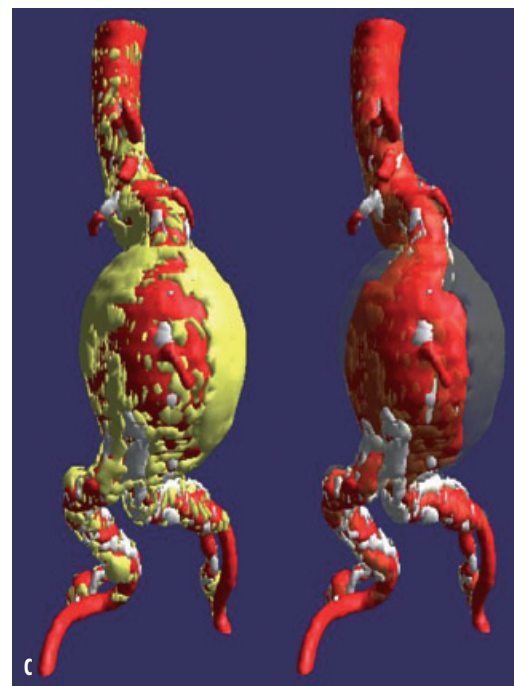
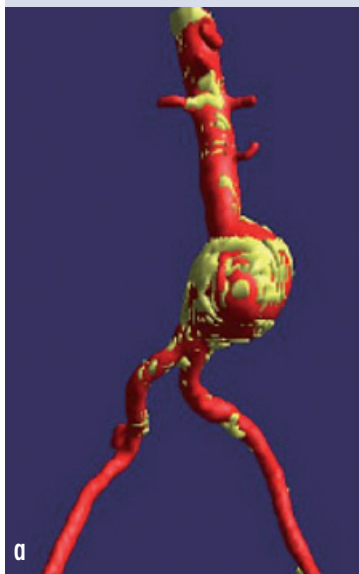
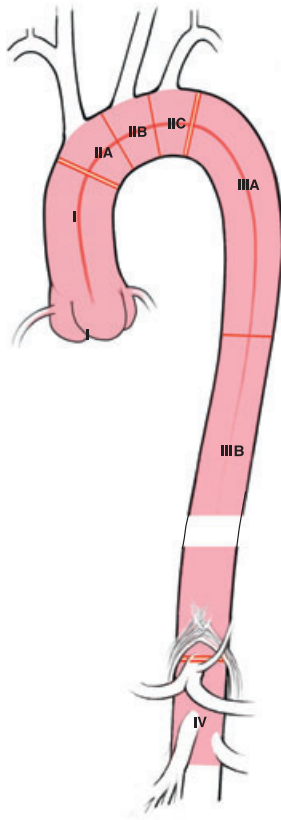


Abb. 6a-c 3D-CTA-Rekonstruktion eines (a) AAA Typ I mit langem geradem Hals, (b) AAA Typ IIb mit anguliertem Hals und (c) AAA Typ II C und rev. top. Hals (gelb = Thrombus, weiß = Kalkplaques) und Iliakalaneurysmen

Abb. 7 Morphologische Einteilung der thorakalen Aortenläsionen Typ I–IV



ve Datenerfassung, Post-Processing, Auswahl der richtigen Endprothesengrößen (Stichwort „Oversizing“) und Planung der Interventionen sind deshalb Gegenstand eines interdisziplinären Workshops für Bildnachverarbeitung, dem sogenannten „Image Post-Processing“ (www.ipoper.de) Image Post-Processing: Die Spiral-CT-Technik war die Voraussetzung für den Quantensprung von der zweidimensionalen Darstellung zur multiplanaren 3D-Rekonstruktion der Aorta. Dies ermöglichte nicht nur die Volumenmessung endovaskulär versorgter Aortenaneurysmen im Follow-up (z.B. zur hämodynamischen Beurteilung von Seitenastleckagen), sondern optimierte auch die präoperative Diagnostik. Im Sinne einer virtuellen Navigation kann der Therapeut die

Sliding-Thin-Slab Maximum Intensity Projection (STS-MIP)

- Pathologiedetails

Multiplanare Reformation (MPR): Diagnostik

- Axial, koronal, sagittal
- Oblique
- Curved (CPR)

Volume Rendering (VR)

- Übersicht

„Centerline“ (automatisiert CPR)

- Durchmesser (Min, Max, Fläche)
- Längenmaß
- Distanz

Fly-through

- Kommunikation mit Klinik-Partner

Abb. 8 Image Post Processing (IPP)-Werkzeuge

Pathomorphologie und Anatomie präoperativ visualisieren. Dabei erhält er Informationen zu vorliegenden arteriosklerotischen Veränderungen. Mit Hilfe der „Centerline“, einer errechneten Linie im Mittelpunkt des durchströmten, kontrastierten Aortenlumens, wird in der festgelegten Verankerungszone im 90-Grad-Winkel der minimale und maximale Durchmesser des Aortenlumens berechnet (Abb. 9). Diese Berechnung ermöglicht eine exakte Dimensionierung und Auswahl der Endprothese, was wiederum entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Behandlung hat.

Die enge Zusammenarbeit von Radiologie und Gefäßchirurgie ist dabei Voraussetzung für eine erfolgreiche Patientenversorgung in zukünftigen Kompetenzzentren. Aufbauend auf der engen Kooperation der Abteilung für Gefäßchirurgie der Chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg mit der Abteilung Radiologie des Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg konnte mit Unterstützung der Industrie im Dezember 2005 erstmalig ein praktischer Trainingkurs für eine gezielte Bildnachverarbeitung angeboten werden.

Inhalt, Aufbau und Ablauf des Workshops – Praktischer Teil („Hands-On“)

Die Lerninhalte der Workshops liegen schwerpunktmäßig in der Patientenselektion, den Grundlagen und „State-of-the-art“ der präoperativen Ausmessung sowie einer abschließenden Erfolgskontrolle und Fehleranalyse von operierten Patienten. Der Hands-On-Workshop wurde von den Tutoren

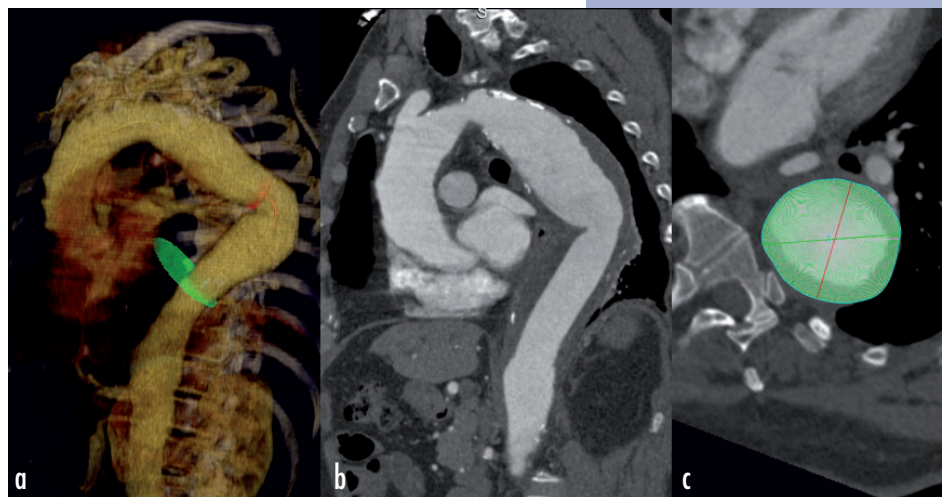


Abb. 9 a) Centerline-Messung einer 3D-CT-Untersuchung bei CEAD, b) Durchmesser-Bestimmung im 90-Grad-Winkel zur Centerline (rote bzw. grüne Linie)



Abb. 10 Demo-Workstation

Hardy Schumacher und Dittmar Böckler aus der Abteilung für Gefäßchirurgie, vaskuläre und endovaskuläre Chirurgie der Universität Heidelberg (Leitung: Jens-Rainer Allenberg) sowie Tim Weber und Hendrik von Tengg-Kobligk aus der Abteilung Radiologie, DKFZ Heidelberg (Leitung: Hans-Ulrich Kauczor) im Kommunikationszentrum des DKFZ gestaltet. Der Kurs wurde als Fortbildungsveranstaltung durch die Landesärztekammer Nordbaden anerkannt und mit 12 CME-Punkten zertifiziert. Um den praktischen Schwerpunkt des Kurses zu gewährleisten, wurden „exklusiv“ zehn Teilnehmer, sowohl Gefäßchirurgen als auch interventionelle Radiologen, aus ganz Deutschland eingeladen. Für fünf Zweiergruppen wurde jeweils eine Work-

station bereitgestellt. Eine intensive und individuelle Betreuung wurde durch jeweils einen Tutor pro Zweiergruppe ermöglicht. Zusätzlich standen Produktspezialisten der Firma zur technischen Betreuung der Workstations zur Verfügung. Einem einführenden Kurzvortrag von H. Schumacher über die Anforderungen an die Bildgebung und Bildnachverarbeitung folgte eine Darstellung der aktuellen Möglichkeiten und Herausforderungen in der diagnostischen Radiologie durch H. von Tengg-Kobligk. Anschließend folgte der praktische Teil des Workshops. Mittels zweier „Beamer“ wurde parallel auf einer großen Leinwand die aktuelle Fallbearbeitung auf der Demo-Workstation projiziert und nach Diskussion im Forum die Therapieentscheidungen anhand einer PowerPoint-Präsentation für alle Teilnehmer dargestellt (Abb. 10). Anschließend wurden gemeinsam die postoperativen Ergebnisse von implantierten Endoprothesen analysiert, insbesondere Komplikationen wie beispielsweise Endoleckagen sowie das Problem der Endoprothesen-Diskonnektion. Dies beinhaltete auch Beispiele von den mitgebrachten Fällen. Für die postoperative Kontrolle spielt das Post-Processing ebenfalls eine wichtige Rolle, da so die Lage und Anpassung des Endografts besser visualisiert werden kann als auf den axialen Schnittbildern.

Anhand von ausgesuchten Fällen des eigenen Patientengutes mit thorakaler Aortenpathologie (Penetriertes Aortenulkus, Plaqueruptur, thorakales Aortenaneurysma, Stanford Typ B Aortendissektion) und sieben von den Teilnehmern selbst mitgebrachten Fällen (Tabelle 2) wurden die relevanten Bildnachverarbeitungsschritte nach folgenden Schritten eingeübt:

- Konventionelle Betrachtung und Ausmessung der Pathologie in axialen, koronaren und sagittalen Rekonstruktionen
- Oblique und Curved MPR
- Gefäßsegmentierung
- Betrachtung des Gefäßstatus mittels Volume Rendering
- Centerline-Berechnung
- Ausmessung der Pathologie (Länge, orthogonale Durchmesser, Anfang, Ende)
- Festlegung der Landungszonen (Abstand, orthogonale Durchmesser)

Zum Abschluss wurde aus klinischer Sicht die bereits durchgeführte oder zu planende Therapie in der Gruppe diskutiert. Die Fehlinterpretation des Gefäßdurchmessers basierend auf rein axialen Schich-

Tabelle 2 Auflistung der Heidelberger Patienten (n=8) und mitgebrachten Fälle (n=6).

PAU penetrierendes Aortenulkus; TAA thorakales Aortenaneurysma; CEAD chronisch expandierende Aortendissektion

n	Diagnose	Alter [Jahre]	Datenmaterial
2	B-Dissektion	62; 62	KM-CT; 1mm Schichtdicke; adäquater Gefäßkontrast
2	Plaqueruptur	73; 78	KM-CT; 1mm Schichtdicke; adäquater Gefäßkontrast
2	PAU	54; 57	KM-CT; 1mm Schichtdicke; adäquater Gefäßkontrast
2	TAA	45; 53	KM-CT; 1mm Schichtdicke; adäquater Gefäßkontrast
1	CEAD	17	KM-CT; aber 3,0 mm und 5,0 mm Schichtdicke
1	B-Dissektion	81	KM-CT; 0,6 mm Schichtdicke, aber hohes Bildrauschen
1	B-Dissektion	anonymisiert	KM-CT; 2,3 mm Schichtdicke, biphasische Aufnahme, adäquater Kontrast
1	A-Dissektion + TAA	anonymisiert	KM-CT; 5 mm Schichtdicke, aber zu niedriger Gefäßkontrast
1	Chron. B-Dissektion, Rest A-Dissektion (voroperierter Patient)	anonymisiert	KM-CT; 0,75 mm Schichtdicke, adäquater Kontrast
1	TAA	anonymisiert	KM-CT; 0,75 mm Schichtdicke, adäquater Kontrast



Abb. 11 Hybrid-Operationssaal mit intraoperativer 3D-Bildgebung zur Navigation: bodenmontierter mobiler Hochleistungs-C-Bogen mit acht Freiheitsgraden und Flatpanel-Detektor in Kombination mit konventionellem strahlentransparenten Operationstisch.

ten ist in der Literatur beschrieben. Zur Verdeutlichung haben die Teilnehmer zunächst auf axialen Schichten den Durchmesser und die Länge der Pathologie ausgemessen, um im nächsten Schritt anhand einer gekrümmten Reformatierung, die eine Mittellinie im Zentrum des Gefäßlumens berechnet (sog. „centerline“), das Ergebnis zu vergleichen. Der Prozess der Lernphasen ist auf diese Weise für den einzelnen Teilnehmer besser ersichtlicher.

Erfahrungen – Ergebnisse – Teilnehmer-Feedback

Anhand eines Evaluationsbogens gaben die zehn Teilnehmer am Ende des Workshops Rückmeldung an die Veranstalter. Die anfängliche kurze Einführung für das Arbeiten an der Workstation wurde von manchen Teilnehmern als zu knapp angesehen, die intensive Betreuung der Tutoren und Assistenten hat dies jedoch mehr als kompensieren können. Vier der eingesandten Fälle (n=11) konnten nicht auf die Workstation gespielt werden, da das Datenmaterial nicht dafür geeignet war. Bei der Fallbearbeitung ging es zunächst darum, anhand der Multiplanaren Reformatierungen (MPR) und der Volumendarstellung, einen Gesamteindruck über die Pathologie zu bekommen. Die schräg-sagittale MPR-Darstellung des Aortenbogens ist dabei sinnvoll, um die Pathologie im Zusammenhang mit den supraaortalen Gefäßen zu sehen und um den Neigungswinkel für die spätere C-Bogeneinstellung abschätzen und entsprechend planen zu können. Die Teilnehmer haben durch bedienerfreundliche Benutzeroberflächen die Handhabung der Workstation schnell erlernt. Die „Centerline“-Berechnung ermöglichte

- ⇒ 4D-Radiologie und Nachverarbeitung
- ⇒ Virtuelle OP-Planung
- ⇒ Modellierung und Simulation
- ⇒ Intraoperative Navigation und 3D-Bildgebung

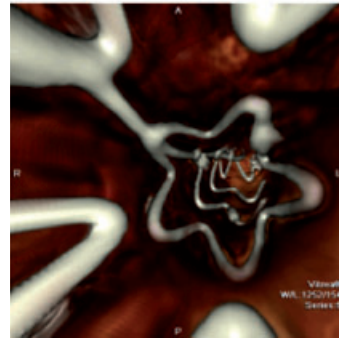


Abb. 12 Aortenerkrankungen: Multidimensionale Bildgebung

eine sichere, schnelle Ausmessung der Pathologie und der angrenzenden Strukturen, wie etwa der orthogonale aortale Durchmesser im Bereich der proximalen Landungszone.

Die modernen Workstations erlauben eine relativ schnelle und erfolgreiche Segmentierung der großen Gefäßabgänge, d.h. die Ausblendung des Knochens und die selektive Darstellung der Gefäße. Für den endovaskulären Zugang sind der Verlauf und der Durchmesser der Iliakalgefäße wichtig; dies wurde

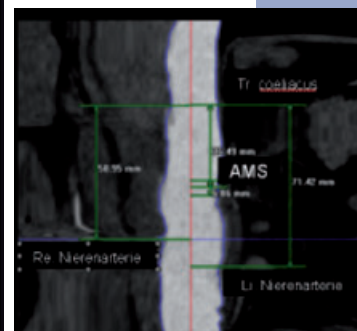
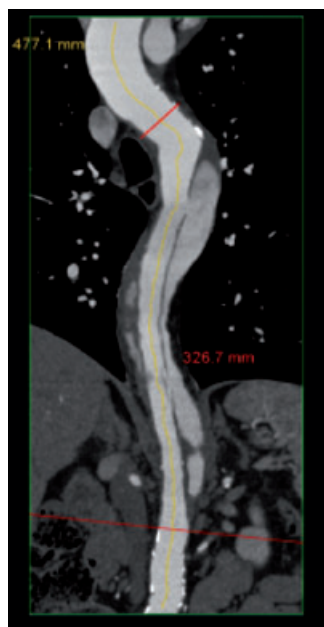
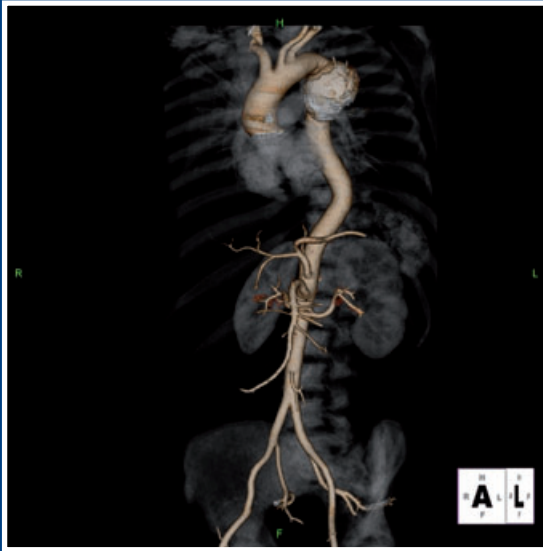


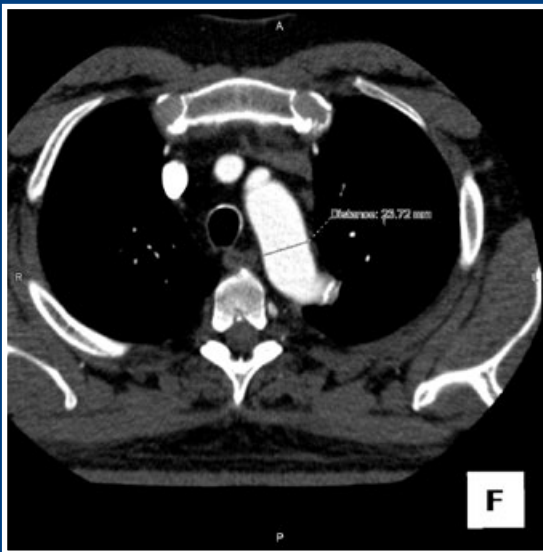
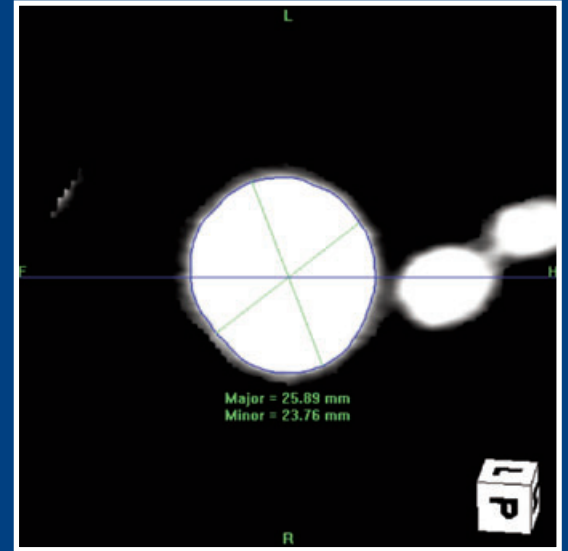
Abb. 13 OP-Planung und Modellierung „Mapping“

Anwendungsbeispiele aus Image Postprocessing Workshop (www.ipoper.de)



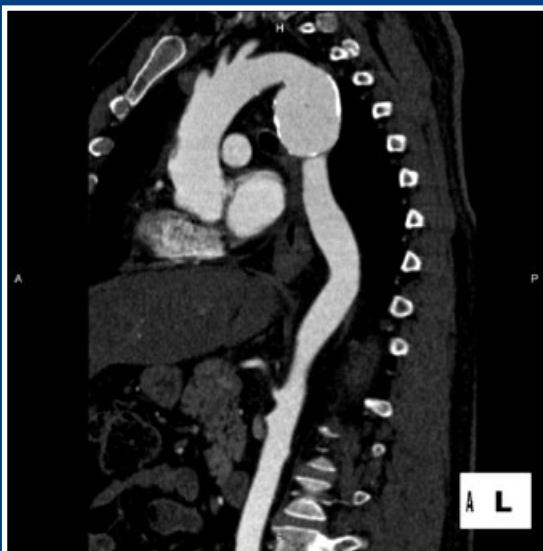
◀ Die segmentierte Aorta mit den großen Gefäßabgängen in der Volumendarstellung (Volume Rendering) erlaubt einen schnellen Überblick über die Pathologie und den allgemeinen Gefäßverlauf. Thorakales Aortenaneurysma mit randständiger Verkalkung. Leichtes Kinking der thorakalen Aorta oberhalb des Diaphragmas. Cine (Film) online.

Maximaler (26 mm) und minimaler (24 mm) ▶ orthogonaler Durchmesser der thorakalen Aorta auf Höhe der proximalen Landungszone (Abb. 2e), 2 cm kranial des thorakalen (posttraumatisch) Aortenaneurysmas (vgl. mit Messung von Abb. 2b). Semiautomatische Berechnung als Centerline (rote Linie). Das blaue Kreuz zeigt die Position der orthogonalen Messung an.



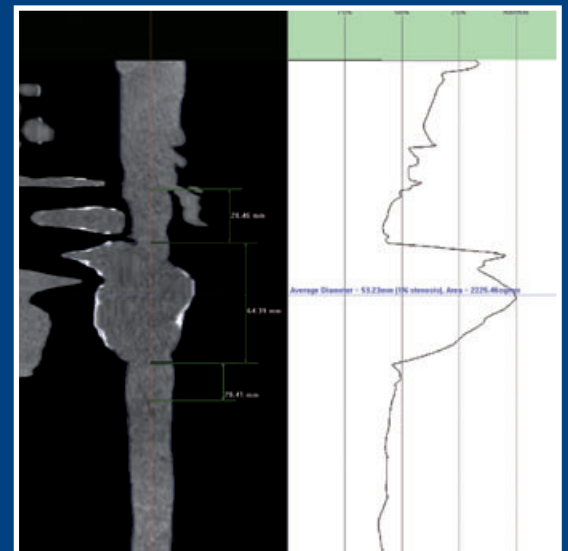
◀ Ausmessung des maximalen aortalen Durchmessers in einer axialen Schicht auf gleicher Höhe wie mit der Centerline-Berechnung. Messwert: 24 mm (vgl. mit Messung von Abb. 2d, e).

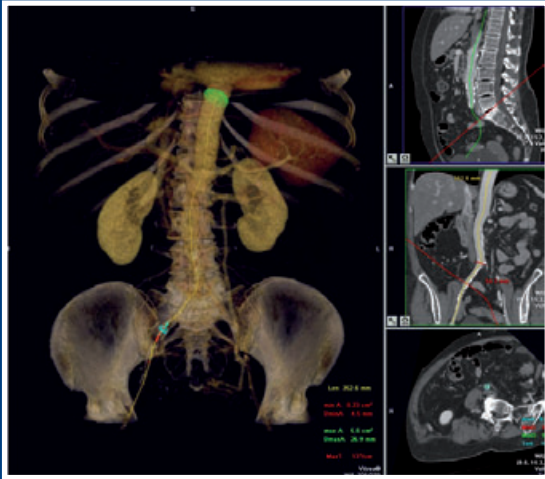
Centerline-Berechnung. Abstand zwischen ▶ distalem Rand des Ursprungs der A. subclavia sinistra und dem proximalen Rand des Aneurysmas (28 mm). Maximaler Durchmesser des perfundierten Lumens im Aneurysma: 53 mm. Länge der Pathologie: 64 mm. Ausmessung der distalen Landungszone (20 mm).



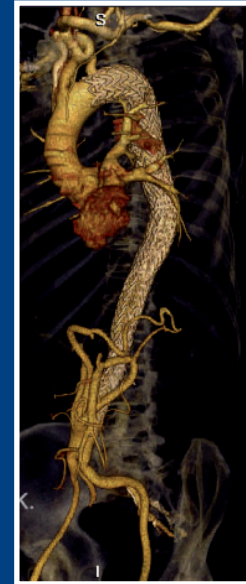
◀ Schräg-sagittale MPR-Darstellung, die den Aortenbogen im Längsverlauf darstellt. Für diese Einstellung musste die sagittale MPR um 30 Grad von der AP-Linie gedreht werden. Dieser Winkel erlaubt später die Voreinstellung des C-Bogens im OP.

Längenabmessung für die proximale ▶ Landungszone (PLZ), Pathologie und distale Landungszone (DLZ) im distalen Aortenbogen anhand der gestreckten Centerline. Vgl. auch Abb. 3.





▲ Evaluation des transfemorale Zugangs: durch Bestimmung des minimalen Durchmessers der Zugangsgefäße von der Leiste bis zur Deploymentposition läßt sich bereits präoperativ die optimale Seite und die Machbarkeit des transfemorale Zugangs insbesondere für großkalibrige Einführschleusen thorakaler Systeme (bis 28 Fr, dies entspricht 9 mm) festlegen. Ggf. müssen iliakale oder aortale Zugänge über Conduit-Prothesen gewählt werden.



▲ Analyse des postoperativen Ergebnisses nach endovaskulärer Hybrid-Operation am Aortenbogen: Konventionelle Transposition aller supra-aortischen Gefäße (sog. Debranching) stromaufwärts Richtung Aortenklappe und kompletter endovaskulärer Bogenersatz mit drei Endoprothesen; Rekonstruktionen zur Beurteilung des Bypass-Offenheit, der Landungs- und Überlappungszonen der Endoprothesen und zur Frage der Materialermüdung der Endografts



▲ Analyse des postoperativen Ergebnisses nach endovaskulärer thorako-abdomineller Hybrid-Operation: konventionelle Transposition aller Viszeralgefäße (sog. Debranching) stromabwärts Richtung Aortenbifurkation und kompletter endovaskulärer Ersatz der Aorta mit vier Endoprothesen; Rekonstruktionen zur Beurteilung des Bypass-Offenheit, der Landungs- und Überlappungszonen der Endoprothesen und zur Frage der Materialermüdung der Endografts

Analyse der Re-Entry-Mechanismen und viszerale Perfusionsverhältnisse nach Aortendissektion Stanford B: Rekonstruktion entlang der imaginären roten Linie und Darstellung der Perfusion beider Nierenarterien aus dem wahren Lumen, die linke Nierenarterie wird zusätzlich aus dem Falschkanal gespeist

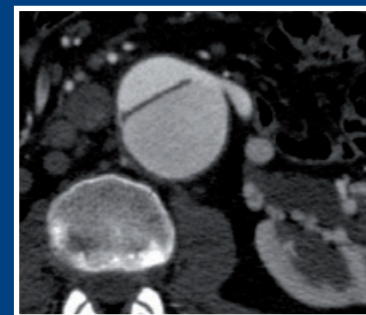
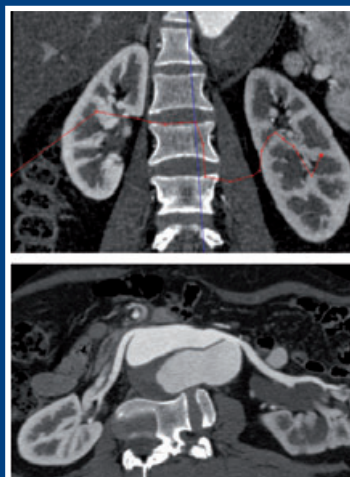


Tabelle 3 Bildnachverarbeitungs-„Tools“ und deren Einsatz für die erweiterte Diagnostik, zur präoperativen Planung und zur Beurteilung komplexer postoperativer Fragestellungen [13]

	MIP	STS-MIP	MPR	CL	VRT	Fly through
Schnelle Übersicht	✓	–	✓	✓	✓✓	–
Kommunikation	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓
Detaillierte Beurteilung	–	–	✓✓	✓	–	–
Kalkplaques	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓
Thrombus	–	✓	✓✓	✓	–	–
Orthogonaler Durchmesser	–	–	✓✓	✓✓	–	–
Ausdehnung Pathologie	–	✓	✓	✓✓	✓	–
Materialbeurteilung (Endograft)	✓	✓	✓	–	✓	✓
Endoleak	–	✓	✓✓	–	–	–
A. radicularis magna (ARM) ^a	–	✓	✓✓	–	–	–

^a A. Adamkiewicz

MIP: Maximum-Intensitätsprojektionen, STS-MIP: „sliding-thin-slab-MIP“, MPR: multiplanare Reformatierung, CL: Centerline, VRT: Volume-rendering-Technik

Tabelle 4 Erkrankungen der Aorta: Voraussetzungen zur Bildung eines Aortenzentrums

- Integrierte Teambildung
- Interdisziplinität
- Individualisierte Therapiekonzepte
- Transfer in die Grundlagenforschung
- Integration der klinischen Expertise in die Entwicklungsabteilungen

ebenfalls ausgemessen. Diese Ergebnisse entstehen selbstverständlich nicht auf Knopfdruck. Der zeitliche Aufwand im Umgang mit der Workstation wird mit wachsender Erfahrung in der kontinuierlichen Anwendung geringer. Eine Hauptvoraussetzung für die erfolgreiche Bildnachverarbeitung ist eine adäquate Bildgebung, die als Basis zum Einsatz kommt. Insgesamt ist festzuhalten, dass die effiziente Darstellung und exakte Vermessung der aortalen Gefäßpathologie, basierend auf 3D-CT-Angiographie-daten, ist mit einer optimierten Workstation nicht nur möglich sondern heute bereits erforderlich ist. Hierzu muss das Organ „Aorta“ von der Klappe bis zur Leiste dargestellt werden. Moderne Bildnachverarbeitung, das sogenannten „Image Postprocessing“ ist für die spezifische Patientenselektion zum jeweiligen Therapieverfahren, die individuelle Therapieentscheidung und die präoperative Planung eines endovaskulären oder auch aortalen Hybrid-eingriffes essentiell und unverzichtbar.

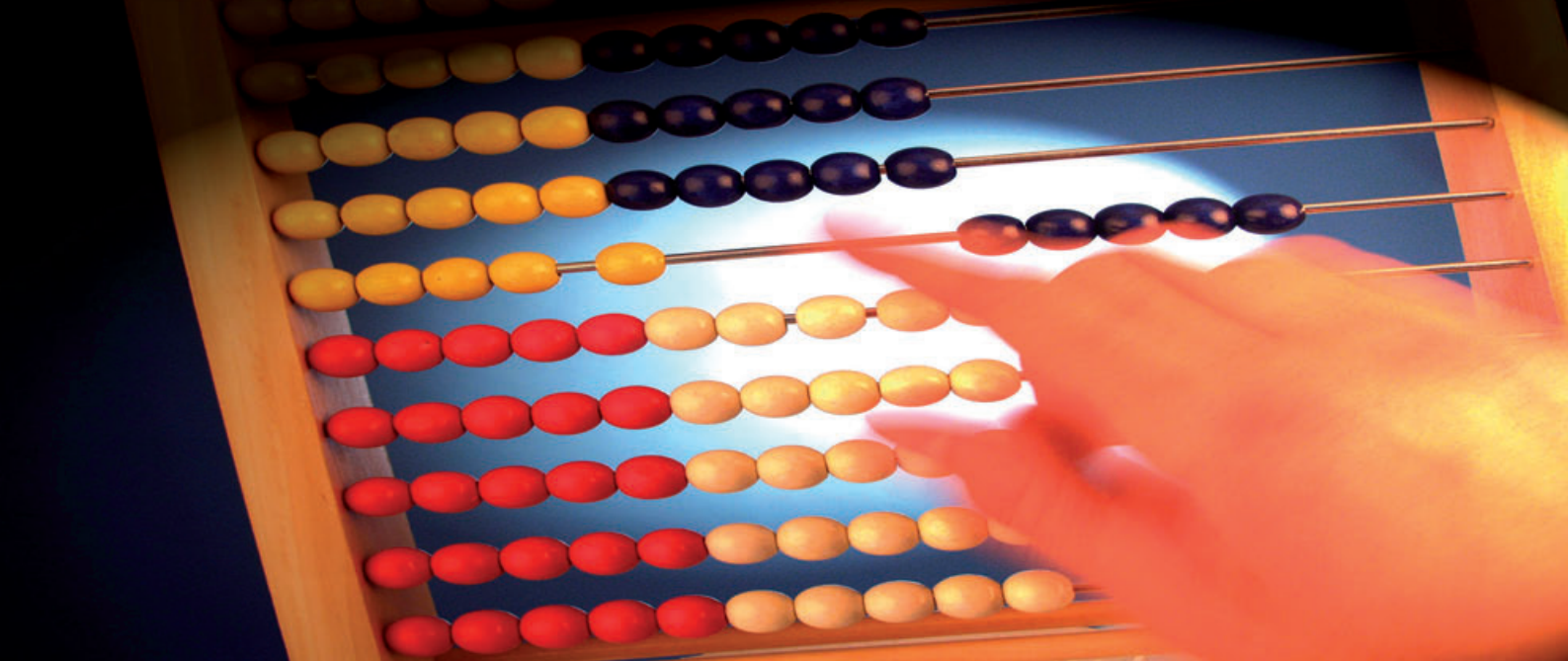
Der vor zwei Jahren erfolgreich etablierte IPOPER-Workshop stellt die Basis für die endovaskuläre Therapieplanung dar: am virtuellen Patienten werden

dem einzelnen Teilnehmer intensiv die Grundlagen der modernen 3D- Bildverarbeitung sowie die sogenannten „Pitfalls“ in der Planung aortaler Endograft-Implantationen vermittelt.

Literatur

- Greenberg RK, Secor JL, Painter T (2004) Computed tomography assessment of thoracic aortic pathology. *Semin Vasc Surg* 17: 166–172
- Janka R, Anders K, Uder M, et al (2007) Indikationswandel der klassischen Angiographie in der Chirurgie durch neue CT- und Kernspin-Methoden. *CHAZ* 8: 293–297
- Schumacher H, Allenberg JR, Eckstein HH (1996) Morphological classification of abdominal aortic aneurysm in selection of patients for endovascular grafting. *Br J Surg* 83: 949–950
- White GH, Yu W, May J, et al (1997) Endoleaks as a complication of endoluminal grafting of abdominal aortic aneurysms: definition, incidence, diagnosis and management. *J Endovasc Surg* 4: 152–168
- Schumacher H, Eckstein HH, Kallinowski F, Allenberg JR (1997) Morphometry and classification in abdominal aortic aneurysms: patient selection for endovascular and open surgery. *J Endovasc Surg* 4:39–44.
- Schumacher H, Böckler D, Allenberg JR (2004) Chirurgisches Management thorakaler Aortenläsionen. Aneurysma, Dissektion und traumatische Ruptur. *Chirurg* 75: 937–958
- Böckler D, Schumacher H, Klemm K, et al (2007) Hybrid procedures as a combined endovascular and open approach for thoracoabdominal aortic pathologies. *Langenbecks Arch Surg* 392: 715–723
- Wolf O, Böckler D, Schumacher H, et al (2007) Hybridverfahren zur Therapie thorakoabdomineller Aortenaneurysmen (TAAA) – erste Erfahrungen an einem Hochrisikokollektiv. *Gefäßchirurgie* 12: 338–347
- Böckler D, Schumacher H, Ganten M, et al (2006) Complications after endovascular repair of acute symptomatic and chronic expanding Stanford type B aortic dissections. *J Thorac Cardiovasc Surg* 132: 361–368
- Schumacher H, Böckler D, von Tengg-Kobligk H, Allenberg JR (2006) Acute traumatic aortic tear: open versus stent-graft repair. *Semin Vasc Surg* 19: 48–59
- Böckler D, Schumacher H, Leszczynski M, et al (2007) Endovaskuläre Therapie des traumatischen Aortenabrisses. *Gefäßchirurgie* 12: 139–149
- Jansen HH (2003) Thomas Mann – letzte Krankheit und Tod. *CHAZ* 4: 329–333
- von Tengg-Kobligk H, Weber T, Rengier F, Böckler D, Schumacher H, Kauczur HU (2007) Image post-processing of aortic CTA and MRA. *Radiologe* 47: 1003–1011

Prof. Dr. med. Hardy Schumacher
Klinik für Gefäßchirurgie
Klinikum Hanau
Leimenstraße 20
63450 Hanau
eMail: hardy_schumacher@klinikum-hanau.de



Ja, ich abonniere die CHIRURGISCHE ALLGEMEINE – Zeitung für Klinik und Praxis

Der Jahresbezugspreis für 10 Ausgaben (je ein Doppelheft im Juli/August und November/Dezember) beträgt Euro 48,- (inklusive Euro 16,- Versandkosten), bei Lieferung ins Ausland Euro 48,- (inklusive Euro 18,- Versandkosten). Das Abonnement gilt zunächst bis zum Ende des begonnenen Jahres und wird bei Bestellung im Laufe des Jahres anteilig berechnet. Es verlängert sich um jeweils ein Jahr, wenn die Kündigung nicht bis zum 31.10. schriftlich beim Verlag vorliegt.

 **Bitte liefern Sie die Fachzeitschrift „CHIRURGISCHE ALLGEMEINE“ an:**

.....
Name, Vorname, Titel

.....
Klinik, Praxis, Firma

.....
Telefon (für evt. Rückfragen)

.....
Straße/Hausnummer oder Postfach

.....
PLZ/Ort

.....
Datum

.....
1. Unterschrift

Ich zahle per

Rechnung

Bankeinzug

.....
Konto-Nr.

.....
BLZ

.....
Bank

Vertrauensgarantie Dieses Abonnement kann innerhalb von 10 Tagen schriftlich beim Kaden Verlag widerrufen werden. Rechtzeitige Absendung der Widerrufserklärung genügt (Poststempel). Ich bestätige dies auch mit meiner 2. Unterschrift.

.....
Datum


2. Unterschrift

Kaden Verlag GmbH & Co. KG, Ringstraße 19b, 69115 Heidelberg
Tel. +49 (0) 62 21 13 77 620, Fax 6 59 95 90
eMail: rajmann@kaden-verlag.de, www.kaden-verlag.de