

Aus der Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral- und Gefäßchirurgie
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(Direktor: Prof. Dr. H. Dralle)

Indikatorische Kriterien zur elektiven invasiven Therapie atherosklerotischer infrarenaler Aortenaneurysmen

Habilitation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin (Dr. med. habil.)

Vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Wolf-Armin Werner Cappeller
geboren am 5.1.54 in Bochum

Gutachter: Prof. Dr. H. Dralle
Prof. Dr. R.P. Spielmann
Prof. Dr. H.D. Saeger

Datum der Verteidigung: 21.11.2002
Datum der Beschlussfassung: 10.12.2002

urn:nbn:de:gbv:3-000004359

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000004359>]

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	4
1.1. DEFINITION	4
1.2. PATHOGENESE	4
1.3. EPIDEMIOLOGIE UND SPONTANVERLAUF	5
1.4. INVASIVE THERAPIE	6
1.4.1. Geschichte	6
1.4.2. Operation	6
1.4.3. Stentgraft	7
1.5. FRAGESTELLUNGEN	8
2. METHODIK	9
2.1. LANGZEITPROGNOSE	9
2.2. RISIKOFAKTOREN UND KOMPLIKATIONEN	9
2.3. GRÖSSENPARAMETER	10
2.4. BILDGEBENDE DIAGNOSTIK	10
2.5. KLINISCHE ANWENDUNG	11
3. ERGEBNISSE	12
3.1. 10-JAHRES-VERLAUF NACH AUSSCHALTUNGSOPERATION	12
3.2. RISIKOFAKTOREN UND MORBIDITÄT	12
3.3. KRITISCHE GRÖSSENPARAMETER	13
3.4. DREIDIMENSIONALE SUBTRAKTIONSANGIOGRAPHIE	13
3.5. VERFAHRENSWAHL	15

4. DISKUSSION	18
4.1. INDIKATION ZUR THERAPIE	18
4.1.1. Lebenserwartung (allgemein und postoperativ)	18
4.1.2. Ruptur-Risiko	19
4.1.3. Risiko der elektiven Standard-Operation	20
4.1.4. Risiko der endovaskulären Therapie	21
4.1.5. Entscheidungsmodelle	22
4.2. AUSBLICK	23
5. ZUSAMMENFASSUNG	24
6. LITERATUR	25
7. ORIGINALARBEITEN	31
7.1. Abdominal aortic aneurysms	31
7.2. Das infrarenale Aortenaneurysma – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse	39
7.3. Ein Verfahren zur computergestützten, dreidimensionalen Subtraktionsangiographie mit Hilfe der Spiralröntgencomputertomographie	46
7.4. Langzeitergebnisse und Kosten der elektiven Ausschaltungsoperation des infrarenalen Aortenaneurysmas	52
7.5. Possible objectification of a critical maximum diameter for elective surgery in abdominal aortic aneurysms based on one- and three-dimensional ratios	58
7.6. Ten-year results following elective surgery for abdominal aortic aneurysm	65
8. DANKSAGUNG	73

1. EINLEITUNG

1.1. DEFINITION

Arterielle Aneurysmen sind seit über 3000 Jahren bis ins 19. Jahrhundert vereinzelt erwähnt worden. Eines der frühesten Zeugnisse fand sich im Papyrus Eber 1550 v. Christus (nach 68). Ambroise Paré gab im 16. Jahrhundert eine vortreffliche Beschreibung des klinischen Befundes: ein pulsierender Tumor, dessen Pulsation bei Kompression mit den Fingern abnimmt oder verschwindet und der beim Auflegen des Ohres ein deutliches Zischen zu erkennen gibt (50).

Der Begriff „Aneurysma“ leitet sich aus dem Griechischen ab und bedeutet „Erweiterung“. Erst in der heutigen Zeit erschien in der zunehmenden wissenschaftlichen Literatur eine klare Abgrenzung nötig. Daher wurde 1991 von den amerikanischen Fachgesellschaften erstmals ein Aneurysma als umschriebene, lokale Erweiterung einer Arterie um mehr als 50% bezogen auf den normalen altersentsprechenden Querdurchmesser des betreffenden Gefäßes definiert (36). Im Gegensatz zu falschen Aneurysmen (pulsierenden Hämatomen), die nur von einer Kapsel eines komprimierten fibrösen Gewebes umgeben sind, haben Aneurysmata vera eine typische dreischichtige Wand mit ausgedünnter Adventitia, Media und Intima. Um ein solches wahres Aneurysma handelt es sich bei dem spindelförmigen oder fusiformen infrarenalen abdominalen Aortenaneurysma (AAA).

1.2. PATHOGENESE

Heute nimmt das atherosklerotische AAA zahlenmäßig den wichtigsten Platz ein. Daneben spielen konnatale, inflammatorische und mykotische, darunter in der Vor-Antibiotika-Ära zahlreiche syphilitische Aneurysmen, eine untergeordnete Rolle. Sie sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Traditionell wird die Aneurysmaformation als Konsequenz der degenerativen atherosklerotischen Alterserkrankung gesehen. Gerade der Chirurg ist oft gleichzeitig mit der peripheren Atherosklerose und dem Aneurysma konfrontiert. Aortenaneurysmen und Atherosklerose-Erkrankungen sind gleich häufig; so ist zum Beispiel in China und Japan eine niedrige Aneurysma-Rate mit einer geringen Atherosklerose-Erkrankungszahl korreliert (31). Radiologische und histopathologische Studien unterstreichen den Bezug zwischen Atherosklerose und Aneurysmen. Das Ultraschall-Screening von Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit ergab bei 5,9% ein infrarenales Aortenaneurysma, eine doppelt so hohe Inzidenz im Vergleich zur Gesamtpopulation (57). Bei Patienten mit Stenose der A. Carotis und koronarer Herzkrankheit fand sich in Skandinavien eine Aneurysmarate von 11 – 13,5% (4). Histologische Schnitte von Aortenaneurysmen zeigen typische atherosklerotische Veränderungen und eine ausgedünnte Media (31).

Auch pathophysiologische Prinzipien unterstützen das Konzept, daß die Atherosklerose zur Aneurysmaformation beiträgt. Plaques können die Diffusion von Nährstoffen vom Lumen zur Media behindern. Somit muß der Bedarf der Media ausschließlich durch Vasa vasorum von der Adventitia aus gedeckt werden. Das kann jedoch aufgrund der unvollständigen Versorgung des arteriellen Systems mit Vasa vasorum unzureichend sein (33).

1.3. EPIDEMIOLOGIE UND SPONTANVERLAUF

Das AAA ist vornehmlich eine Erkrankung älterer Männer und kommt 5 mal häufiger als bei Frauen vor (10,12,38). Ultraschall-Screening-Programme in Großbritannien haben gezeigt, daß AAA mit mehr als 3 cm Durchmesser bei 4,3% der 65–80-jährigen männlichen und weiblichen Bevölkerung diagnostiziert werden (56).

In der Geschichte führte die Ruptur des Aneurysmas, fast immer identisch mit der Erst-Symptomatik, unweigerlich zum Tode. Vor der Ära der chirurgischen Therapie lag die 5-Jahres-Letalität von Patienten mit AAA bei 81%, wobei in zwei Dritteln die Aneurysmaruptur Todesursache war (28). Noch in den Anfängen des

Sonographiezeitalters wurde eine spontane 2-Jahres-Letalität von 72% nach Diagnose eines AAA von mehr als 6 cm Durchmesser dokumentiert (67). Erst seit Verbreitung vor allem der prophylaktischen Ausschaltungsoperation von AAA seit den 60er Jahren, mit der einer Ruptur mit fraglichem Ausgang vorgebeugt werden kann, hat sich die Prognose grundlegend verbessert.

1.4. INVASIVE THERAPIE

1.4.1. Geschichte

Die erste bekannte Operation wegen eines AAA erfolgte 1817 durch Sir Astley Cooper: Er ligierte die Aorta cranial des Aneurysmas; die Operation war jedoch nicht von Erfolg gekrönt. Es dauerte noch 106 Jahre, bis diese Ligatur erstmals Rudolph Matas 1923 gelang (30). 1948 wurde Albert Einstein an seinem AAA operiert, wobei es in Zellophan eingewickelt wurde, eine in der Zeit bekannte Methode (18). Im Jahre 1955, 7 Jahre später, trat eine Ruptur des AAA ein; Einstein lehnte eine weitere Operation jedoch ab und verstarb infolgedessen. 1951 wurde die erste erfolgreiche Operation eines AAA von Dubost in Paris mittels homologem Gefäßersatz durchgeführt (26). Die damals etablierte Technik wird mit leichten Modifikationen auch heute noch praktiziert. Genau 40 Jahre nach der erfolgreichen Ausschaltungsoperation durch Dubost gelang Parodi 1991 die innere Schienung eines AAA mittels endovaskulärem Stent (48).

1.4.2. Operation

Die erste erfolgreiche Ausschaltungsoperation wurde 1951 durchgeführt. Während der folgenden Jahre wurden das operative Vorgehen mit Kunststoff-Interponaten (Dacron oder PTFE; Rohr oder Bifurkation) und die perioperativen Verfahren standardisiert und optimiert, Voraussetzungen für die wesentlichen Verbesserungen der Resultate (55). Ende der 80er Jahre stabilisierte sich die perioperative Letalität nach elektiver Operation bei 5% (9,10,12,32,35,63).

Die entscheidende Phase der Ausschaltungsoperation ist die Abklemm- und die Wiedereröffnungsphase (Clamping-Declamping) der Aorta während der die

infrarenale Aorta zum Einnähen der Prothese komplett ausgeklemmt ist und die eine enorme zusätzliche kardiale Belastung darstellt. Dabei kommt es in der Clampingphase zu einer deutlichen Erhöhung des systemvaskulären Widerstandes und entsprechend zu einer Erniedrigung des Herzzeitvolumens. Das sinkende Schlagvolumen wird von einer Erhöhung des mittleren Blutdruckes begleitet. Bei der Declampingphase kommt es zu umgekehrten Veränderungen, wobei insbesondere der Blutdruck um bis zu 35 mmHg systolisch abfallen kann. Diese Änderungen können durchaus limitierend für die koronare Durchblutung sein (16,17).

Die Ausschaltungsoperation mit Protheseninterponat bleibt das Standardverfahren, das einerseits immer durchführbar ist und andererseits im allgemeinen keine weiteren Kontrolluntersuchungen erfordert.

1.4.3. Stentgraft

Seit Anfang der 90er Jahre werden Stentgrafts zur „inneren Schienung“ von AAA eingesetzt. Ein Stentgraft besteht aus einem zylinderförmigen Metallskelett, in dem eine Kunststoff-Prothese aufgespannt ist. Minimalinvasiv wird nach operativer Freilegung der Femoralgefäße der Stentgraft mit oder ohne Narkose unter Durchleuchtungskontrolle endovaskulär eingebracht und plaziert. Das Metallskelett drückt dank einer Vorspannung den Stentgraft gegen die Gefäßwand. Das Blut fließt endoluminal im Stentgraft und übt keinen Druck mehr auf die Gefäßwand aus.

Während des Anmodellierens des Stentgrafts mittels Ballon-Katheter kommt es nur zu einem kurzen Stop des aortalen Blutflusses im Sekundenbereich. Somit erscheint das Verfahren im Vergleich zur Standardoperation mit Clamping-Declamping Phase für die Patienten mit hohem kardialen Risiko prädisponiert.

Der entscheidende Unterschied zur Standardoperation besteht jedoch darin, dass vor allem aufgrund der morphologischen Konfiguration ein Stentgraft nur bei einer begrenzten Anzahl von Patienten (15-30%) möglich ist (65) und die übrigen mittels Standardoperation behandelt werden müssen. Eine subtile morphometrische Planung mit bildgebender Diagnostik ist Voraussetzung, damit ein passender Stentgraft bereitgestellt werden kann. Wichtige Kriterien sind ein proximaler Hals

mit einer Mindestlänge und einem maximalen Durchmesser, ein definierter aorto-iliakaler Winkel und eine Konfiguration, die ein Rohr- oder Y-Stentgraft zulässt (44). Die Behandlung von AAA mit endovaskulären Stentgrafts befindet sich nach wie vor in einer frühen Phase hinsichtlich der technologischen Entwicklung und auch der adäquaten klinischen Anwendung (53). Langzeitergebnisse liegen noch nicht ausreichend vor. Komplikationen sind jedoch zunehmend zahlreich und bedürfen regelmäßiger Kontrolluntersuchungen (47).

1.5. FRAGESTELLUNGEN

In dieser Arbeit wurden Faktoren untersucht, die die Indikation zur elektiven invasiven Therapie und zur Verfahrenswahl, Operation oder interventionelle Behandlung mit Stentgrafts, bei Patienten mit infrarenalem AAA beeinflussen. Insbesondere wurde folgenden Fragen nachgegangen:

1. Welchen Einfluß haben Langzeitprognose und Letalität operierter AAA Patienten auf die Indikation zur invasiven Therapie?
2. Welchen Einfluß haben präoperative Risikofaktoren auf die Indikation zur invasiven Therapie?
3. Wie kann der klassische Indikator zur Operation, der maximale Querdurchmesser des Aneurysmas, objektiviert werden?
4. Wie können morphologische Aspekte, Grundlage für die Indikation zur interventionellen Stentgraft-Therapie, veranschaulicht werden?
5. Welche Ergebnisse wurden unter Berücksichtigung dieser indikatorischen Kriterien hinsichtlich der Verfahrenswahl erzielt?

2. METHODIK

2.1. LANGZEITPROGNOSE

In die Studie gingen 770 konsekutive Patienten ein, die zwischen Januar 1978 und Dezember 1987 wegen eines AAA im Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München elektiv (n=545, 71,6%; maximaler Querdurchmesser des Aneurysmas >4,5 cm) oder notfallmäßig (n=225, 28,4%) operiert wurden. Retrospektiv wurden die Stammdaten, die Risikofaktoren koronare Herzkrankheit und Hypertonus und die perioperative Letalität erhoben. Anschließend wurden die Patienten, Angehörige, der Hausarzt oder das zuletzt behandelnde Krankenhaus mindestens 5 bis mehr als 12 Jahre postoperativ kontaktiert. So wurde das Kontroll- oder das Todesdatum bei 96,2% (740/770) aller operierten Patienten erreicht. Die kumulierte Überlebensrate nach Kaplan-Meier und die mittlere Überlebenszeit für verschiedene Untergruppen wurde errechnet und mit altersentsprechenden Normalkollektiven verglichen (Originalarbeit 7.2, 7.4, 7.6).

2.2. RISIKOFAKTOREN UND KOMPLIKATIONEN

Grundlage für diese Untersuchung waren 475 konsekutive Patienten, die zwischen Januar 1982 und Juni 1986 wegen eines AAA im Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München elektiv (n=349) oder notfallmäßig (n=126) operiert wurden. Retrospektiv wurden präoperative Risikofaktoren wie koronare Herzkrankheit, Kardiomyopathie, Hypertonus und Niereninsuffizienz erhoben und unter Berücksichtigung der Letalität ausgewertet. Darüberhinaus wurde die allgemeine, vor allem kardiopulmonale, und chirurgische Morbidität analysiert (Originalarbeit 7.1).

2.3. GRÖSSENPARAMETER

Bei 58 hämodynamisch stabilen Patienten, die wegen eines AAA im Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München geplant oder notfallmäßig aufgenommen wurden, wurde umgehend eine Computertomographie (CT) mit intravenösem Kontrastmittel durchgeführt. Die Indikation zur Operation wurde nach üblichen Kriterien gestellt. Die Patienten wurden in 3 Gruppen eingeteilt: a) Notfalloperation (n=13) aufgrund der Symptomatik oder CT-Zeichen einer gedeckten Ruptur, b) elektive Operation (n=29) und c) keine Operation (n=16) bei Aneurysmen kleiner 4,5 cm im maximalen Querdurchmesser oder anderen Kontraindikationen.

Eindimensionale Parameter wie maximaler Querdurchmesser und supraaneurysmaler Durchmesser sowie die Aneurysmalänge zwischen den Nierenarterienabgängen und der Aortenbifurkation wurden gemessen. Dreidimensionale Parameter wie Aneurysma- und Thrombusvolumen wurden planimetrisch und durch Summation errechnet. Verhältnisse der Durchmesser und Volumina wurden kalkuliert. Mittels mathematischer Modelle (Kluster Analyse) wurden Alternativen zum üblichen kritischen Diskriminator „maximaler Querdurchmesser“ überprüft (Originalarbeit 7.5).

2.4. BILDGEBENDE DIAGNOSTIK

Zur prinzipiellen Machbarkeit und sicheren Durchführung einer endovaskulären Prothesenimplantation müssen bereits präoperativ alle anatomischen AAA-Daten zur Auswahl des geeigneten Stentgrafts exakt definiert sein. Das endovaskuläre Verschieben des Stentgrafts von transfemorale setzt einen relativ geradlinigen Verlauf der A. iliaca ohne behindernde Stenosierung oder Abknickung voraus. Die Verankerung des Stentgrafts an der Gefäßwand proximal und distal des Aneurysmas impliziert eine ausreichende Länge und einen begrenzten Durchmesser des proximalen und distalen Aneurysmahalses. Wenn ein distaler Aneurysmahals fehlt, ist ein Bifurkationsstent mit Verankerung in dafür geeigneten A. iliaca erforderlich. Die *conditio sine qua non* der proximalen und distalen

Verankerung führte zu einer morphologischen Klassifikation der AAA, die Grundlage der Verfahrenswahl ist:

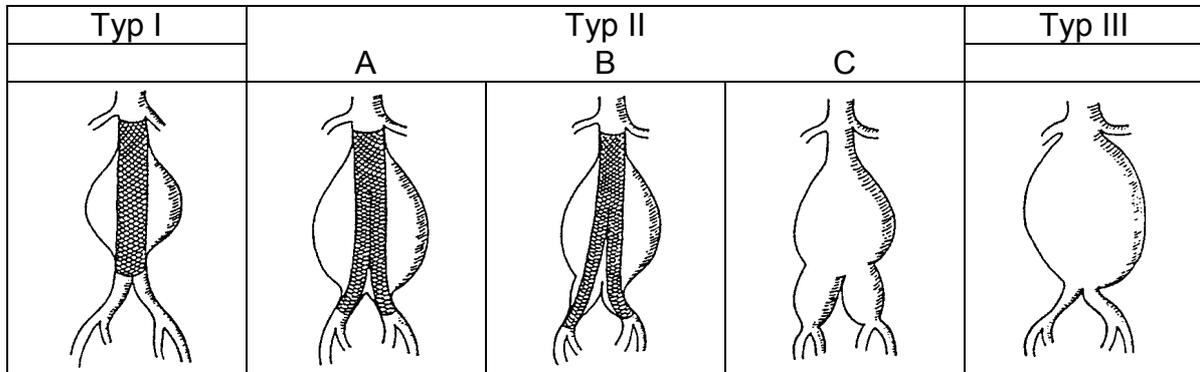


Abb. 1 Morphologische Klassifikation der AAA unter Berücksichtigung der proximalen und distalen Stentgraft Verankerung. Typ I: Rohrstent bei proximalem und distalem Hals möglich. Typ II c: Bifurkationsstent wegen fehlenden distalen Hälsen nicht möglich. Typ III: Stent wegen fehlendem proximalem Hals nicht möglich (nach 2)

Ziel war daher eine optimale Darstellung der morphologischen Parameter, idealerweise 3-dimensional.

10 Patienten, die zur elektiven Therapie eines AAA in das Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München kamen, wurden einer Spiral-Computertomographie (CT) mit intravenösem Kontrastmittel unterzogen. Anhand dieses Bildmaterials wurde ein Verfahren zur dreidimensionalen Subtraktionsangiographie entwickelt (Originalarbeit 7.3.).

2.5. KLINISCHE ANWENDUNG

Zwischen Oktober 1995 und Dezember 2001 wurden 55 Patienten wegen eines AAA in der Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Gefäßchirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg aufgenommen; 26 (42%) wurden als Notfall und 29 (58%) elektiv therapiert. Die Notfall-Patienten wurden ausschließlich mittels offener Standardoperation und Protheseninterponat versorgt. Die Verfahrenswahl der elektiv operierten Patienten, offene Standardoperation oder Stentgraft, wurde prospektiv analysiert.

3. ERGEBNISSE

3.1. 10-JAHRES-VERLAUF NACH AUSSCHALTUNGSOPERATION

Unter Berücksichtigung einer Hospitalletalität von 6,2% betrug die kumulative Überlebensrate 5 Jahre nach elektivem Eingriff 64,6% und nach 10 Jahren 41%, die mittlere Überlebenszeit 8 Jahre (95,1 Monate). Im Vergleich dazu lag die durchschnittliche Lebenserwartung gleichaltriger, 68-jähriger Männer bei 12,6 Jahren (Sterbetafel). Die Ergebnisse nach Notfalleingriff waren vor allem wegen der bekannt hohen perioperativen Letalität wesentlich schlechter, die mittlere Überlebenszeit betrug nur 4,75 Jahre (57,3 Monate).

Das Alter bestätigte sich als bekannter Risikofaktor. Die kumulativen Überlebensraten und die mittlere Überlebenszeit nach Altersgruppen (<60, 60<70, >70) unterschieden sich jeweils signifikant voneinander.

Erwartungsgemäß wurden diese Langzeitergebnisse auch von den Risikofaktoren koronare Herzkrankheit und Hypertonus signifikant negativ beeinflusst. Eine koronare Herzkrankheit lag bei 55% der in die Studie eingegangenen Elektiv-Patienten (n=285) vor; koronar unauffällig waren n=230 Patienten. Die kumulierte Überlebensrate nach 10 Jahren betrug 36,3% bzw 45,9%. Die mittlere Überlebenszeit von Koronar-Kranken erreichte etwas mehr als 7 Jahre (87+7 Monate), die von Koronar-Unauffälligen signifikant mehr, nämlich fast 10 Jahre (116+9 Monate; Originalarbeit 7.2, 7.4, 7.6).

3.2. RISIKOFAKTOREN UND MORBIDITÄT

Eine koronare Herzkrankheit war bei 58% der Patienten präoperativ nachweisbar; etwa die Hälfte dieser Patienten hatte bereits einen Herzinfarkt erlitten. Im Rahmen von Elektiveingriffen bestand keine Korrelation zwischen koronarer Herzkrankheit und Letalität, möglicherweise Folge der präoperativen kardiologischen Diagnostik. Eine Kardiomyopathie hingegen, die bei 16,5% der

Patienten präoperativ bekannt wurde, war im Rahmen von Elektiv- und Notfall-Eingriffen mit einer signifikant höheren Letalität korreliert. Eine Niereninsuffizienz (Serum Creatinin $>1,8\text{mg}\%$), mit 4,9% ein eher seltener Risikofaktor, war nach Elektiveingriffen ebenfalls mit einer signifikant höheren Letalität belastet.

Durchschnittlich wurden 0,94 Komplikationen nach der Standard-Operation nachgewiesen. Dabei standen respiratorische Probleme mit 18% im Vordergrund, gefolgt von renalen und kardialen Komplikationen mit 9 respektive 7%. Eine Blutung mit Operationsfolge war mit 3% die häufigste chirurgische Komplikation (Originalarbeit 7.1.).

3.3. KRITISCHE GRÖSSENPARAMETER

Basierend auf den mathematisch-statistischen Auswertungen von Thrombus- und Aneurysma-Volumen konnte ein kritisches Verhältnis berechnet werden, das optimal 2 Gruppen trennte. Diese entsprachen den Gruppen „Operation“ und „konservative Therapie“. Analog wurde 2,0 als kritischer Wert für das in der Literatur angegebene, aber ungebräuchliche Verhältnis dm/ds (maximaler Aneurysmadurchmesser / supraaneurysmatischer Durchmesser der Aorta) errechnet, ein Wert, der den empirisch begründeten Angaben entspricht. Dieser kritische Wert ($dm/ds = 2,0$) wiederum korrelierte mit einem maximalen Aneurysma-Durchmesser von 5,2 cm. Üblicherweise wird mit einer großen Streubreite die Indikation zur elektiven Ausschaltung eines AAA bei einem maximalen Aneurysma-Durchmesser von 5,0 cm oder mehr gesehen, so daß der mathematisch-statistische Ansatz diesen Wert bestätigt (Originalarbeit 7.5.).

3.4. DREIDIMENSIONALE SUBTRAKTIONSANGIOGRAPHIE

Bei den 10 Spiral-Computertomographien zur Abklärung des AAA konnte das Bildsubtraktionsergebnis deutlich verbessert werden. Darauf aufbauend gelang einerseits die Elimination knöcherner Strukturen und andererseits die automatisierte und damit zeitsparende selektive Segmentierung interessierender

Gefäßabschnitte sowie die dreidimensionale Darstellung isolierter Blutgefäße, wesentliche Erleichterung für die morphologische Diagnostik vor Indikation zur interventionellen Stentgraft-Behandlung. Auf den dreidimensionalen Bildern lassen sich kritische morphologische Regionen wie zum Beispiel der proximale oder distale Aneurysmahals, der aorto-iliakale Winkel oder die Ausdehnung von

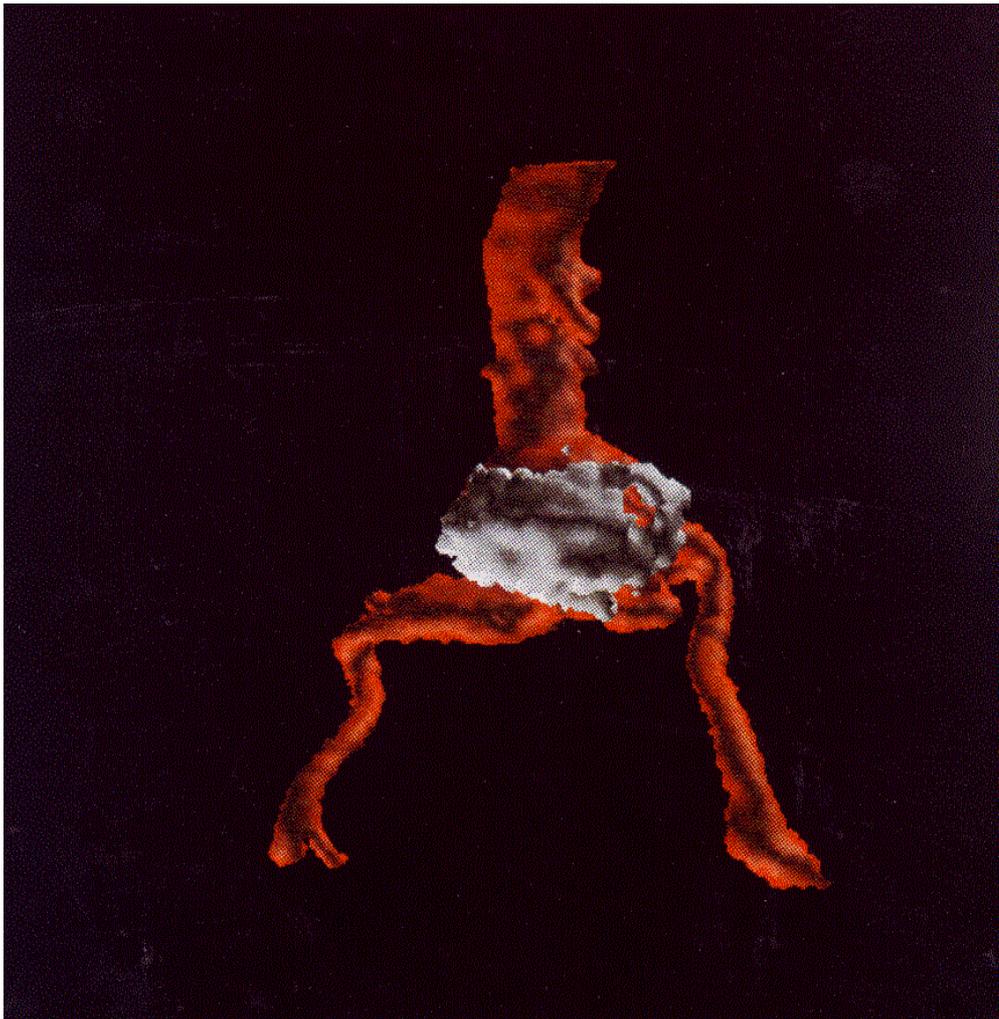


Abb. 2 3-D Subtraktionsangiographie, rekonstruiert aus einer Spiral-Computertomographie mit Kontrastmittel: infrarenales AAA im Bifurkationsbereich (Thrombus grau dargestellt). Langer proximaler Hals (2,7 cm). Aorto-iliakaler Winkel ca 90° bds.

Aneurysmen in die Iliacalgefäße leichter erkennen, Grundlage für die weitere morphometrische Analyse und Indikation zur Stentgraft -Therapie (Originalarbeit 7.3.).

3.5. VERFAHRENSWAHL

Grundlage für die Indikation zur invasiven Therapie und zur Analyse der Verfahrenswahl war bei allen 29 Patienten, die an der Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Gefäßchirurgie der Martin-Luther-Universität Halle zwischen dem 10.10.95 und dem 31.12.01 elektiv operiert wurden, neben der Anamnese die Computertomographie mit Kontrastmittel zur Beurteilung der Morphologie sowie der Pulsstatus und der cruro-brachiale Index zur Abklärung einer möglichen zusätzlichen peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (pAVK) der Ae. iliaca.

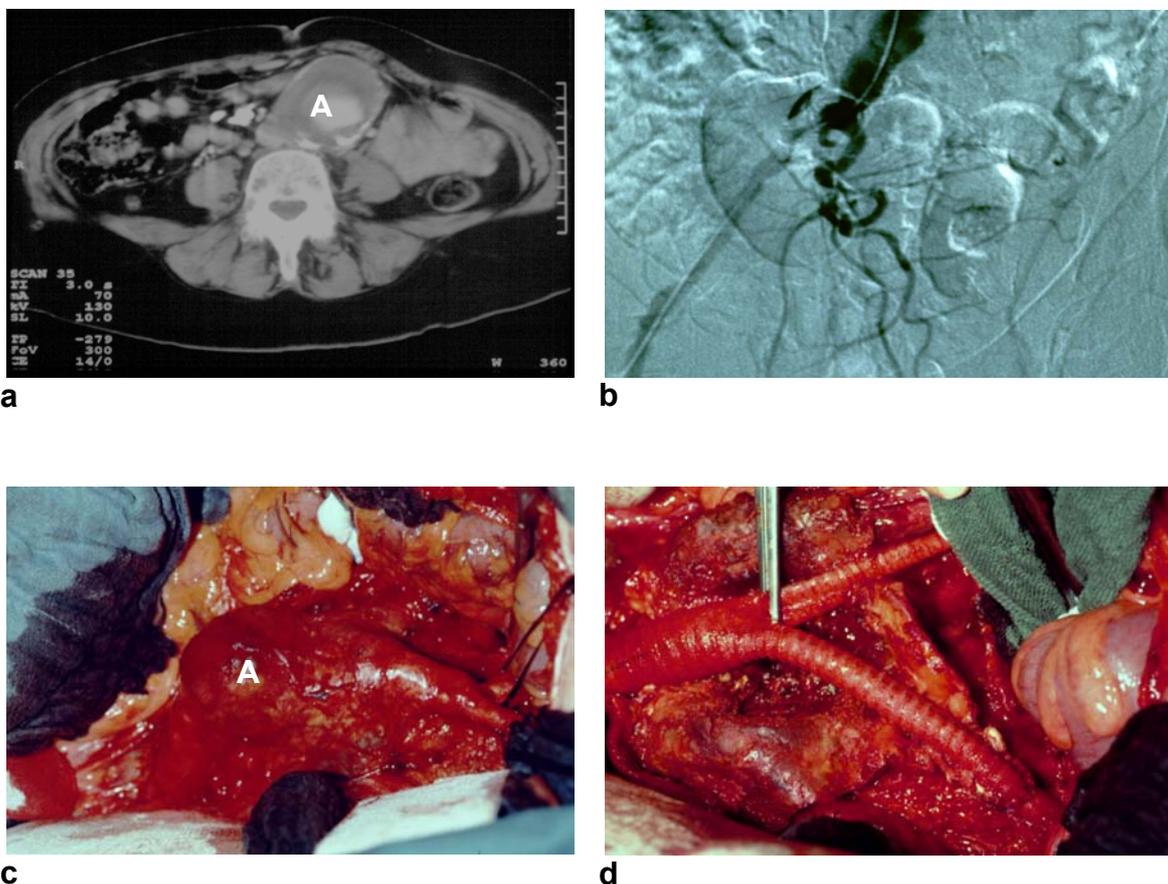


Abb. 3 60-jährige Patientin mit infrarenalem AAA (A) und arteriellem Verschlussleiden li>re mit Beckenachsenverschuß li; Standardoperation (Ausschaltung) und Bifurkationsprothese (16/8 mm Dacron), distale Anastomosen re end-end mit iliacaaler Gabel und li end-end mit A. iliaca com. nach Thrombendarteriektomie. **a)** Computertomographie mit Kontrastmittel und Darstellung des AAA (A): durchflossenes Lumen hell, Thrombus dunkel konzentrisch. **b)** Angiographie der Aortenbifurkation: subtotale kurzstreckige Stenose der A. iliaca com. re und retrograde Kontrastierung, kurzstreckige Kontrastierung der A. iliaca com. li mit Beckenachsenverschuß. **c)** intraoperativer Situs mit AAA (A) und angeschlungenen Ae. iliaca com. am re Bildrand (caudal). **d)** intraoperativer Situs mit re anastomosiertem und li abgeklemmtem Prothesenschenkel.

Angiographiert wurde zur Diagnostik einer pAVK, zur Abklärung komplexer aorto-iliacaler Aneurysmen und zur Vorbereitung auf eine Stentgraft-Implantation. Insgesamt wurde bei 27 Patienten (93%) die offene Standardoperation als therapeutisches Verfahren gewählt, da entweder die morphologischen Voraussetzungen für einen Stentgraft nicht gegeben waren oder andere Kontraindikationen bestanden:

Fünf Patienten (17%) litten zusätzlich zum infrarenalen AAA an einer iliakalen pAVK, die zur Revaskularisation eine Bifurkationsprothese erforderlich machte (Abb. 3, s. oben).

Vier weitere Patienten waren wegen multipler Aneurysmen an den unteren Extremitäten bereits mehrfach therapiert; bei diesen erschien auf Grund der dilatativen Angiopathie eine Verankerung des Stentgrafts an der pathologischen Aortenwand nicht sicher genug, so dass die Gefahr einer Leckage gedroht hätte.

Wegen der morphologischen Konfiguration des AAA ohne distalen Hals (Abb. 1, Typ III: n=3) und vor allem mit Ausdehnung in die Iliacalgefäße (Abb. 1, Typ IIc: n=10) mussten 13 Patienten (45%) offen operiert werden.

Bei 3 Patienten sprachen sehr unterschiedliche Gründe gegen das interventionelle Verfahren: a) Die orale Antikoagulation wegen einer Herzklappe kann zu nicht beherrschbaren Leckagen und fehlender Thrombosierung zwischen Aortenwand und Stentgraft führen; b) Ein ästhetisch auffälliges Hervorstehen des Aneurysmas ca 10 cm über der Bauchdecke bei einem Patienten mit Bronchial-Karzinom in Remission war zu beseitigen; c) Wegen einer geplanten orthopädischen Stabilisierung der Wirbelsäule wären radiologische Überlagerungs-Probleme zu befürchten gewesen.

Bei 2 Patienten erfolgte aus logistischen Gründen kein Stentgraft.

Zwei Patienten, je ein Typ II A (Abb.1) (64-jähriger Patient, schwere KHK mit Dreigefäßerkrankung) und ein Typ II B Aneurysma (74-jähriger Patient), wurden erfolgreich mittels Stentgraft versorgt. Bis zu einem Nachuntersuchungszeitraum von 12 Monaten waren keine Komplikationen, weder eine Dislokation noch eine Leckage, aufgetreten (Abb. 4).

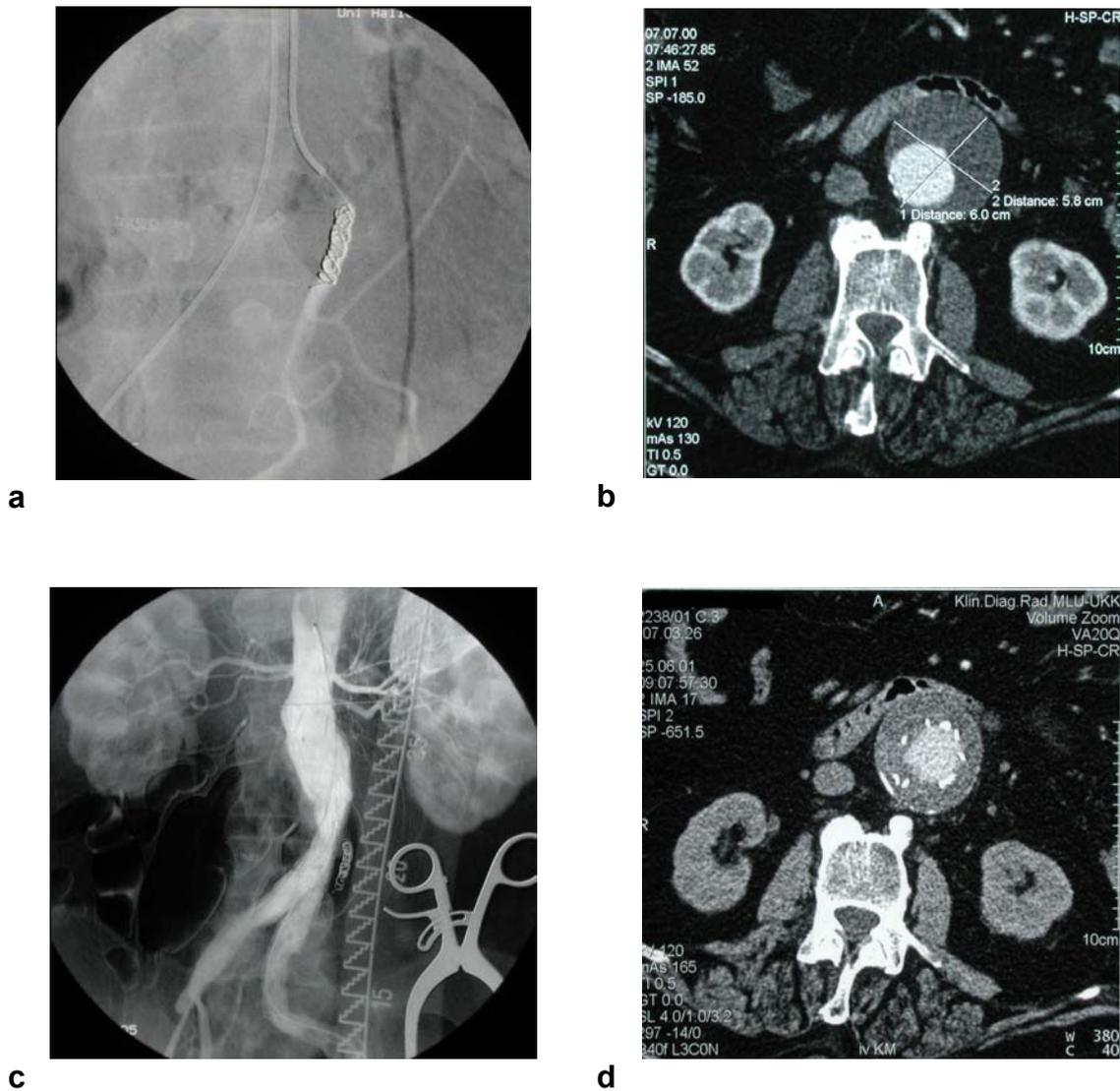


Abb. 4 74-jähriger Patient mit infrarenalem AAA (6 cm Durchmesser); interventionell-operative Therapie in Kooperation mit den Radiologen mittels Bifurkations-Stentgraft in 2 Sitzungen: 1. Embolisation der Lumbalarterien L2 re und L4 bds sowie der A. mesenterica inf. mittels Platinspiralen, 2. (4 Wochen später) Stentgraft Implantation über bds inguinale arterielle Exposition. **a)** Angiographie der mittels Platinspirale verschlossenen A. mesenterica inf. **b)** Computertomographie mit Kontrastmittel des AAA (Lumen hell, Thrombussichel dunkel). **c)** intraoperative Angiographie nach Stentgraft-Implantation. **d)** Kontroll-Computertomographie 6 Monate später: korrekt platzierter Stentgraft ohne Hinweis auf Leckage, Thrombussaum zwischen Stentgraft und Aortenwand.

Diese Ergebnisse zeigen, dass es sich um ein selektioniertes Patientengut handelte. Ein Patient verstarb nach elektivem Eingriff (offene Standardoperation) an den Folgen einer Sepsis bei postoperativer Kolonnekrose.

4. DISKUSSION

4.1. INDIKATION ZUR THERAPIE

Drei vom Krankheitsverlauf bestimmte Indikationen zur operativen Therapie müssen abgegrenzt werden. Unbestritten ist die *Indicatio vitalis* bei der immer lebensbedrohenden freien oder gedeckten Ruptur. Auch die *Indicatio symptomatica* bedarf aus medizinischer Sicht keiner Diskussion soweit die Symptome sicher ursächlich dem AAA zugeordnet werden können. Sie sind Vorboten einer Ruptur oder einer Thrombose mit möglichem Extremitätenverlust durch periphere Embolisation. Bei asymptomatischen AAA jedoch ist die chirurgische Indikationsstellung wesentlich komplexer: der prophylaktische Eingriff hat als Ziel eine Ruptur zu vermeiden und das Leben zu verlängern. Somit beeinflussen drei Variablen die Entscheidung für oder gegen eine Operation:

- Lebenserwartung (allgemein und postoperativ)
- Ruptur-Risiko (abhängig von Aneurysma-Größe)
- Risiko der elektiven Operation (prä- und perioperatives Risiko)

4.1.1. Lebenserwartung (allgemein und postoperativ)

Die Lebenserwartung eines 68-jährigen Mannes liegt in Deutschland und den Vereinigten Staaten bei 12,6 Jahren, die eines 85-jährigen bei 4,6 Jahren (23,59). Die mittlere Überlebenszeit nach elektiver Ausschaltungsoperation von Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 68 Jahren betrug knapp 8 Jahre (95,1 Monate) und entsprach der Lebenserwartung eines nicht operierten 75-jährigen (12). Somit ist der operierte Patient unter Berücksichtigung der perioperativen Letalität von 6,2% und der Risikofaktoren (Begleiterkrankungen) rein rechnerisch um 7 Jahre vorgealtert (12,13). Wie sich daran ablesen lässt, sind relativ genaue Vorhersagen zur Lebenserwartung möglich.

Der Risikofaktor „koronare Herzkrankheit“ allein senkt in diesem Krankengut die mittlere Überlebenszeit um etwa 2,5 Jahre, von knapp 10 Jahren für Koronar-

Unauffällige auf etwas mehr als 7 Jahre für Koronar-Kranke (12). Da die perioperativ Verstorbenen dabei mitberücksichtigt sind, unterstützt diese Tatsache nicht zuletzt eine profunde kardiologische Abklärung.

4.1.2. Ruptur-Risiko

Das Ruptur-Risiko eines AAA ist die Unbekannte, die am schwierigsten zu beurteilen ist. Sektionsstudien haben bereits früh einen Einfluß der relativen Größe auf die Ruptur-Häufigkeit gezeigt (61). Die tatsächlichen Durchmesserangaben der drucklosen aneurysmatischen Aortae wurden dabei jedoch unterschätzt. Darüberhinaus sind Sektionsstudien fehlerleitend, da Verstorbene mit rupturierten AAA eher obduziert werden als solche mit kleinen asymptomatischen AAA, die an anderen Ursachen versterben. Beide Gründe belegen, daß in Sektionsstudien die Ruptur-Häufigkeit bezogen auf einen Durchmesser im Vergleich zur wahren Ruptur-Häufigkeit überschätzt wird (22).

Grundlage für das Verständnis des Ruptur-Risikos von AAA ist die exponentielle Größenzunahme, die allgemein mit etwa 10% pro Jahr angegeben wird (5,21,34,41). Somit dehnen sich große Aneurysmen schneller aus. Das Gesetz nach LaPlace besagt, daß in elastischen Zylindern die Wandspannung direkt proportional zum Radius und zum intraluminalen Druck und umgekehrt proportional zur Wanddicke ist, so daß das Ruptur-Risiko mit zunehmendem Aneurysma-Durchmesser und abnehmender Wanddicke steigt. Dabei trägt der Thrombus nicht zur Wandstabilität bei (25). Daraus folgt, dass die Größenzunahme eine progrediente Zunahme der Ruptur-Häufigkeit bedeutet.

Obwohl es unmöglich ist, das Ruptur-Risiko mit einer präzisen Größe zu definieren, ist der Zusammenhang unbestritten. Ein Durchmesser von 5-6cm stellt einen Übergangsbereich dar: ist dieser unterschritten so liegt ein sehr geringes Ruptur-Risiko vor und umgekehrt (46). Um einer möglichen Ruptur sicher vorzubeugen wird von verschiedenen Autoren ein geringerer Durchmesser, nämlich 4,5 – 5cm, als Indikator für eine Operation begründet (7,8,14). In unserem mathematisch-statistischen Modell wurde ein Durchmesser von 5,2 cm als Indikator für eine Operation errechnet (14). Dagegen hat sich das Verhältnis der Durchmesser (Aneurysma zu Aorta suprarenal) nie durchsetzen können, weil es

aufwendiger zu berechnen ist und weil es möglicherweise aufgrund erheblicher Schwankungen des suprarenalen Aortendurchmessers ungenauer sein könnte (12,14,40,42,60).

Neben dem Durchmesser des AAA wurden Hochdruck und chronische obstruktive Lungenerkrankung (COPD) als weitere unabhängige Parameter für ein Ruptur-Risiko erkannt (20,29,61,67). Dabei läßt sich der Einfluß des Hochdrucks am Gesetz nach LaPlace als Zunahme der Wandspannung ablesen. Die Erklärung der Assoziation von COPD und Ruptur-Risiko liegt möglicherweise an einem systemischen Ungleichgewicht der Proteinase-Aktivität, die sowohl pulmonales als auch aortales Bindegewebe beeinflusst (22).

4.1.3. Risiko der elektiven Standard-Operation

Die perioperative Letalität nach Operation eines AAA liegt in großen gefäßchirurgischen Zentren bei 5-6% (10,12,14,19,35,39,49,52,58,69) und wird von präoperativen Risikoerkrankungen beeinflusst.

Bereits der Nachweis eines AAA sollte als Marker einer generalisierten Atherosklerose betrachtet werden und an eine schwere koronare Herzerkrankung denken lassen (51). Da häufig nur milde Symptome zum Zeitpunkt der Operation bekannt sind, muß eine subtile präoperative kardiologische Abklärung erfolgen (51). Eine routinemäßige präoperative Koronarangiographie wurde als invasive Untersuchungsmethode wegen Komplikationen bei asymptomatischen Patienten in den 80-er Jahren aufgegeben. Eine Diagnose kann heute mittels nicht-invasiver Untersuchungen wie Dipyridamol-Thallium Szintigraphie oder Stress-Echokardiographie gestellt werden. Die fortlaufende Verbesserung der Früherkennung von Risikofaktoren kann auch weiterhin die Zahl der Patienten senken, bei denen eine Koronarangiographie erforderlich ist (64). Nur bei Zeichen ischämischer Areale muß eine invasive Diagnostik, ggf. auch eine Therapie in Form von Koronardilatation oder Operation vor der Behandlung des AAA verfolgen (49).

Neben der koronaren Herzkrankheit mit Ischämiezeichen im EKG konnte von Steyerberg in einer Metaanalyse 5 weitere Risikofaktoren identifizieren, die unabhängig voneinander eine erhöhte Letalität zur Folge hatten: Alter, weibliches

Geschlecht, pulmonale Insuffizienz, Niereninsuffizienz und Kardiomyopathie (62). Ohne die wichtigen Risikofaktoren koronare Herzkrankheit, Nieren- und pulmonale Insuffizienz liegt die Letalität bei weniger als 2%, bei deutlicher Ausprägung aller 3 Faktoren hingegen bei 50% (24). In unserem Patientengut waren eine Kardiomyopathie sowie eine Niereninsuffizienz mit einer signifikant höheren Letalität belastet (10). Das Alter allein hatte nach Korrektur für altersassoziierte Begleiterkrankungen nur einen begrenzten Einfluß auf die Letalität, was die ausgezeichneten postoperativen Resultate bei ausgewählten 80-Jährigen erklärt (62). Diese Ergebnisse waren auch die Grundlage für eine Klassifikation zum Einschätzen der individuellen perioperativen Letalität, wobei ein in der Literatur etabliertes Operateur-abhängiges Risiko mitberücksichtigt wurde (3,62).

4.1.4. Risiko der endovaskulären Therapie

An dieser Stelle ist nochmals auf die eingeschränkte Indikation für Stentgrafts im Vergleich zur Standardoperation hinzuweisen. Sie ergibt sich vor allem daraus, dass ein Stentgraft nur bei bestimmten morphologischen Konfigurationen möglich ist (s. Abb.1 Seite 11). Dabei hat die präoperative Bildgebung eine ganz entscheidende Bedeutung, da das Anpassen der Stentgrafts davon abhängt. Methode der Wahl ist die Spiral-Computertomographie, die zur besseren Sichtbarmachung eine dreidimensionale Subtraktionsangiographie erlaubt (27). Ursprünglich ist die interventionelle Stentgraft-Therapie für Hoch-Risiko Patienten entwickelt worden, bei denen eine Standardoperation als zu risikoreich angesehen wurde. Obwohl mit Hilfe dieser neuen Technik etliche Hoch-Risiko Patienten zusätzlich behandelt werden konnten, ergaben sich enorme Probleme im Fall erforderlicher Konversionen auf ein Verfahren, das vorher wegen zu großer Risiken abgelehnt worden war. Folglich war die daraus resultierende Letalität hoch (43). Mit technologischen Verbesserungen und zunehmender Erfahrung nahm die intraoperative Konversionsrate ab und beträgt in Zentren mit Erfahrung heute 1 – 4 % (54,70). Dadurch konnten bis heute tatsächlich die Therapiemöglichkeiten auf Kandidaten mit hoher Komorbidität ausgeweitet werden (70). Inzwischen kann die Methode auch Patienten mit einem durchschnittlichen Operationsrisiko angeboten werden, bei denen ebenso eine Standardoperation möglich wäre. Allerdings sind

zwei Aspekte von entscheidender Bedeutung: Einerseits ist das Langzeitergebnis noch unklar. Andererseits zeigt sich an Hand der bisherigen Ergebnisse, daß nach endovaskulärem Verfahren im Vergleich zur Standardoperation eine signifikant höhere Komplikationsrate bei gleicher perioperativer Letalität und kürzerer Intensivbehandlung und kürzerem Krankenhausaufenthalt zu verzeichnen ist (45). Somit entsprechen sich annähernd die Variablen, die die Indikationsstellung zum Aortenersatz oder zum Stentgraft beeinflussen.

Die Stent-bezogenen Komplikationen werden mit 13 bis 18% angegeben (47,54). Dabei stehen Leckagen wegen Fortschreiten der dilatativen Angiopathie, Stent - Thrombosen und Infektionen im Vordergrund. Regelmäßige, für ältere Patienten teilweise aufwendige Kontrolluntersuchungen sind daher unverzichtbar. Infolge der Komplikationen mußten zwischen 10% der Patienten in durchschnittlich 16 Monaten (54) und 13% in 49 Monaten konvertiert werden, d.h. offen operiert und mittels Prothese versorgt werden (47).

4.1.5. Entscheidungsmodelle

Um sämtliche Variablen zu berücksichtigen, die die Indikationsstellung zur Operation beeinflussen, wurden Entscheidungsmodelle erstellt. Auch wenn solche Modelle keine Hilfe für individuelle Indikationen bedeuten, so helfen sie dennoch die entscheidenden Parameter zu berücksichtigen. So folgt aus diesen Entscheidungsmodellen zum Beispiel, daß für einen 70-jährigen Mann mit einer durchschnittlichen Lebenserwartung und mit einer durchschnittlichen perioperativen Letalität (5%) die Therapie des AAA die Lebenserwartung nur dann verbessert, wenn das jährliche Ruptur-Risiko des AAA mehr als 1,5% beträgt (37). Daraus läßt sich auch ableiten, daß für sehr alte Patienten und solche mit sehr hohem Risiko der optimale Durchmesser für eine Indikation zur Therapie 6-7cm betragen könnte.

4.2. AUSBLICK

Da die Lebenserwartung in der westlichen Welt weiterhin steigt ist sowohl mit einer zunehmenden Zahl von AAA als auch mit einem höheren Interventions-Alter und konsequenterweise auch mit einer größeren Morbidität zu rechnen. Daher wird die Indikation zur Therapie möglicherweise noch stärker interdisziplinär in Abhängigkeit zur Komorbidität gestellt werden müssen.

Die offensichtlichen kardiopulmonalen Vorteile (keine Laparotomie, kein Clamping/Declamping), die ein endovaskuläres Verfahren begünstigen, werden wohl durch eine im Vergleich zur Standardoperation erhöhten Komplikationsrate (1,47,70) eingeschränkt. Die Langzeitergebnisse bleiben abzuwarten. Bei strenger, morphologisch begründeter Indikationsstellung und unter Berücksichtigung des „nihil nocere“ werden daher wohl auch in Zukunft nicht mehr als 10 – 30 % der AAA für ein endovaskuläres Vorgehen in Frage kommen. Darüberhinaus könnten langfristig wirtschaftliche Argumente bei den medizinischen Entscheidungsträgern an Bedeutung gewinnen, die die Gesamttherapie von der Diagnosestellung bis zum Lebensende betrachten.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Drei entscheidende Faktoren bestimmen die prophylaktische Indikation zur Operation: das Ruptur-Risiko, die Lebenserwartung und die periinvasiven Risikofaktoren. Wie mathematisch-statistisch belegt werden konnte, ist die Indikation zur prophylaktischen invasiven Therapie eines AAA bei Erreichen eines kritischen Querdurchmessers von ca 5,0 cm gerechtfertigt; ab 6 cm steigt das Ruptur-Risiko erheblich an. Weitere wichtigen Einflussfaktoren sind die alters- und risikoabhängige Lebenserwartung, die vor allem von der koronaren Herzerkrankung, pulmonalen und renalen Erkrankungen beeinflusst wird. Die perioperativen Risikofaktoren umfassen die Komplikationen, die teilweise patientenspezifisch, teilweise Operateur-spezifisch sind und etwa zu einer Letalität von ca 5% führen. Insgesamt handelt es sich um eine ausgereifte Standard-Therapie-Maßnahme.

Dagegen ist die technische Entwicklung von Stentgrafts sowie die optimale Indikationsstellung im Fluß. Die vielen Einschränkungen bei der Indikation erlauben einen Stentgraft nur in ca 15 – 30 % der Patienten, eine Rate, die jedoch derzeit außerordentlich stark der individuellen Erfahrung und Verantwortung des Arztes unterliegt. Bei Hochrisiko-Patienten, bei denen aufgrund der oben angegebenen schweren Risikofaktoren eine konventionelle Operation nicht möglich erscheint, kann interventionell die Indikation ausgeweitet werden. Allerdings erscheint die Letalitätsrate gleich hoch wie bei der konventionellen Operation und die Komplikationsrate im Verlauf höher. Die Langzeitprognose ist noch unklar.

Da die Kosten im Gesundheitswesen Ausdruck der Sozialpolitik sind und folglich ständigen Änderungen unterworfen sind, wurden sie nicht näher berücksichtigt.

6. LITERATUR

1. Abou-Zamzam AM, Porter JM (1999) Does endovascular grafting represent a giant step forward? *Semin Vasc Surg* 12(3): 235-241
2. Allenberg JR, Schuhmacher H (1995) Endovasculäre Rekonstruktion des infrarenalen abdominellen Aortenaneurysmas (AAA). *Chirurg* 66: 870
3. Amundsen S, Skjaerven R, Trippestad A et al (1990) Abdominal aortic aneurysms: Is there an association between surgical volume, surgical experience, hospital type and operative mortality? *Acta Chir Scand* 156: 323
4. Bengtsson H, Ekberg O, Aspelin P et al (1988) Abdominal aortic dilatation in patients operated on for carotid artery stenosis. *Acta Chir Scand* 143: 441
5. Bengtsson H, Ekberg O, Aspelin P et al (1989) Ultrasound screening of the abdominal aorta in patients with intermittent claudication. *Eur J Vasc Surg* 3: 497
6. Bernstein EF, Chan EL (1984) Abdominal aortic aneurysms in high-risk patients. Outcome of selective management based on size and expansion rate. *Ann Surg* 200: 255-263.
7. Brown PM, Pattenden R, Gutelius JR (1992) The selective management of small abdominal aortic aneurysms: The Kingston study. *J Vasc Surg* 15: 21
8. Brown PM, Pattenden R, Vernooy C et al (1996) Selective management of abdominal aortic aneurysms in a prospective measurement program. *J Vasc Surg* 23: 213-222
9. Campbell WB (1991) Mortality statistics for elective aortic aneurysms. *Eur J Vasc Surg* 5: 111
10. Cappeller WA, Ramirez H, Kortmann H (1989) Abdominal aortic aneurysms. *J Cardiovasc Surg* 30: 572-578
11. Cappeller W-A, Engelmann H, Fürst H et al (1994) New volumetric parameters in abdominal aortic aneurysms. In: Liepsch, D (editor) *Biofluid Mechanics: Proceedings of the 3rd International Symposium*. VDI, Düsseldorf, S 653-656
12. Cappeller WA, Hinz MH, Lauterjung L (1996) Das infrarenale Aortenaneurysma - 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse. *Chirurg* 67: 697-702
13. Cappeller W-A, Hinz M, Thomusch O, Lauterjung L (1997): Langzeitergebnisse und Kosten der elektiven Ausschaltungsoperation des infrarenalen Aortenaneurysmas. *Zentralbl Chir* 122: 747-751

14. Cappeller W-A, Engelmann H, Blechschmidt S et al (1997) Possible objectification of a critical maximum diameter for elective surgery in abdominal aortic aneurysms based on one- and three-dimensional ratios. *J Cardiovasc Surg* 38: 623-628
15. Cappeller W-A, Hölzel D, Hinz MH, Lauterjung L (1998) 10-years-results following elective surgery for abdominal aortic aneurysm. *Int Angiology* 17: 234 – 240
16. Cappeller W-A (1999) Bauchortenaneurysma - Wie gefährlich ist die elektive Operation? In: Becker HM, Florek HJ (Hrsg) *Komplikationen und Risiken in der Gefäßchirurgie*. Steinkopff Verlag, Darmstadt 12. Titisee Symposium, S 149-157
17. Clark NJ, Stanley TH (1986) Anesthesia for vascular surgery. *Surg Clinics North Am* 1519-1562
18. Cohen JR, Graver LMT (1990) The ruptured abdominal aortic aneurysm of Albert Einstein. *Surg Gynecol Obstet* 170(5): 455-458
19. Crawford ES, Saleh SA, Babb JW, Glaeser DH et al (1981) Infrarenal abdominal aortic aneurysm. *Ann Surg* 193: 699
20. Cronenwett JL, Murphy TF, Zelenock GB et al (1985) Actuarial analysis of variables associated with rupture of small abdominal aortic aneurysms. *Surgery* 98(3): 472
21. Cronenwett JL, Sargent SK, Wall MH et al (1990) Variables that affect the expansion rate and outcome of small abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 11: 260
22. Cronenwett JL (1991) Factors increasing the rupture risk of small aortic aneurysms. In: Veith FJ (ed) *Current Critical Problems in Vascular Surgery*. Vol 3. Quality Medical Publishing, St. Louis, p 234
23. Cronenwett JL (1993) Factors influencing the long-term results of aortic aneurysm surgery. In: Yao J, Pearce W (eds): *Vascular Surgery: Long-term Results*. Appleton and Lange. East Norwalk, Conn USA, p 171
24. Cronenwett JL, Sampson LN (1995) Aneurysms of the abdominal aorta and iliac arteries. In: Dean RH, Yao JST, Brewster DC (eds) *Current Diagnosis and Treatment in Vascular Surgery*. Appleton and Lange, East Norwalk, CT (USA)
25. Dobrin PB (1989) Pathophysiology and pathogenesis of aortic aneurysms. *Surg Clin North Amer* 69: 687-703

26. Dubost C, Allary M, Oeconomos M (1952) Resection of an aneurysm of the abdominal aorta. *Arch Surg* 64: 405
27. Englmeier KH, Fink U, Cappeller WA et al (1996) Ein Verfahren zur computergestützten, dreidimensionalen Subtraktionsangiographie mit Hilfe der Spiralröntgencomputertomographie. *Radiologe* 36: 360-364
28. Estes JE (1950) Abdominal aortic aneurysm: A study of one hundred and two cases. *Circulation* 11: 258
29. Foster JH, Bolasny BL, Gobbel WG et al (1969) Comparative study of elective resection and expectant treatment of abdominal aortic aneurysm. *Surg Gynecol Obstet* 129: 1
30. Friedman SG (1989) A history of vascular surgery. Futura Publishing, Mount Kisco, New York (USA)
31. Giordana JM, Trout HH, DePalma RG (1988) Basic science of Vascular Surgery. Futura Publishing, Mount Kisco, New York (USA)
32. Hagmüller GW, Hold M, Ptakovsky H (1995) Die chirurgische Behandlung des infrarenalen Bauchortenaneurysmas. *Chirurg* 66:857
33. Heistad DD, Marcus ML, Carsen GE et al (1981) Role of vasa vasorum in nourishment of the aortic wall. *Am J Physiol* 240: H781
34. Hirose Y, Hamada S, Takamiya M (1995) Predicting the growth of aortic aneurysms: A comparison of linear versus exponential models. *Angiology* 46: 413
35. Johnston KW, Scobie TK (1988) Multicenter prospective study of nonruptured abdominal aortic aneurysms. I. Population and operative management. *J Vasc Surg* 7: 69
36. Johnston KW, Rutherford RB, Tilson MD et al (1991) Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. *J Vasc Surg* 13: 444-450
37. Katz DA, Littenberg B, Cronenwett JL (1992) Management of small abdominal aortic aneurysms. Early surgery versus watchful waiting. *JAMA* 268(19): 2678-2684
38. Katz DJ, Stanley JC, Zelenock GB (1994) Operative mortality rates for intact and ruptured abdominal aortic aneurysms in Michigan: an eleven-year statewide experience. *J Vasc Surg* 19(5): 804-15; discussion 816-7
39. Kazmers A et al (1996) Abdominal aortic aneurysm repair in Veterans Affairs medical centers. *J Vasc Surg* 23: 191

40. Krupski WC, Bass A, Thurston DW et al (1990) Utility of computed tomography for surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *Arch Surg* 125: 1345-1350
41. Limet R, Sakalihassan N, Albert A (1991) Determination of the expansion rate and incidence of rupture of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 14: 540-548
42. Louridas G, Reilly K, Perry MO (1990) The role of the aortic aneurysm diameter ratio in predicting the risk of rupture. *SAMJ* 78: 642-643
43. May J, White GH, Yu W et al (1997) Conversion from endoluminal to open repair of abdominal aortic aneurysms: A hazardous procedure. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 14: 4-11
44. May J, White GH (1998) Basic data underlying clinical decision making: Endovascular treatment of infrarenal abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 12 (4): 391-395
45. May J, White GH, Yu W et al (1998) Concurrent comparison of endoluminal versus open repair in the treatment of abdominal aortic aneurysms: Analysis of 303 patients by life table method. *J Vasc Surg* 27: 213-222
46. Nevitt MP, Baillard DJ, Hallett JW (1989) Prognosis of abdominal aortic aneurysms: A population based study. *N Engl J Med* 321: 1009
47. Ohki T, Veith FJ, Shaw P et al (2001) Increasing incidence of midterm and long-term complications after endovascular graft repair of abdominal aortic aneurysms: a note of caution based on a 9-year experience. *Ann Surg* 234(3): 323-34; discussion 334-5
48. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD (1991) Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 5: 491-499
49. Reigel MM, Hollier LH, Kazmier FJ et al (1987) Late survival in abdominal aortic aneurysm patients: The role of selective myocardial revascularization on the basis of clinical symptoms. *J Vasc Surg* 5: 222-227
50. Rob CG (1962) Arterial aneurysms. In : Konmonth JB, Rob CG, Simeone FA (edts) *Vascular surgery*. Arnold, London, GB
51. Roger VL, Ballard DJ, Hallett JW et al (1989) Influence of coronary artery disease on morbidity and mortality after abdominal aortic aneurysmectomy: A population-based study, 1971-1987. *J Am Coll Cardiol* 14: 1245-1252
52. Rohrer MJ, Cutler BS, Wheeler HB (1988) Long-term survival and quality of life following ruptured abdominal aortic aneurysm. *Arch Surg* 123: 1213

53. Sapirstein W, Chandeysson P, Wentz C (2001) The Food and Drug Administration Approval of endovascular grafts for abdominal aortic aneurysm: An 18-month retrospective. *J Vasc Surg* 34: 180-183
54. Schlensak C, Doenst T, Hauer M et al (2001) Serious complications that require surgical interventions after endoluminal stent-graft placement for the treatment of infrarenal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 34: 198-202
55. Schweiger H, Eisold-Brand A, Raithe D (1984) Epidemiologie und Diagnostik des abdominellen Aortenaneurysmas. *Münch med Wschr* 126: 915-918
56. Scott RAP, Ashton HA, Kay DN (1991) Abdominal aortic aneurysm in 4237 screened patients: prevalence, development and management over six years. *Br J Surg* 78: 1122
57. Shapira OM, Pakis S, Wassermann JP et al (1990) Ultrasound screening for abdominal aortic aneurysms in patients with atherosclerotic peripheral vascular disease. *J Cardiovasc Surg* 31: 170
58. Soreide O, Lillestol J, Christensen O, Grimsgaard C et al (1982) Abdominal aortic aneurysms: Survival analysis of four hundred thirty-four patients. *Surgery* 91: 188
59. Sterbetafel 1991/93. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
60. Sterpetti AV, Schultz RD, Feldhaus RJ et al (1987) Factors influencing enlargement rate of small abdominal aortic aneurysms. *J Surg Res* 43: 211-219
61. Sterpetti AV, Cavallaro A, Cavallari N et al (1991) Factors influencing the rupture of abdominal aortic aneurysm. *Surg Obstet Gynecol* 173: 175
62. Steyerberg EW, Kievit J, Alexander de Mol van Otterloo JC et al (1995) Perioperative mortality of elective abdominal aortic aneurysm surgery: A clinical prediction rule based on literature and individual patient data. *Arch Intern Med* 155: 1998
63. Stühmeier KD, Mainzer B, van Poppelen R et al (1987) Bauchaortenaneurysma - ist eine konservative Haltung noch gerechtfertigt? *Dtsch Med Wschr* 112: 1930
64. Suggs WD, Smith RB, Weintraub WS et al (1993) Selective screening for coronary artery disease in patients undergoing elective repair of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 18: 349-357
65. Sultan S, Evoy D, Nicholls S et al (2001) Endoluminal stentgrafts in the management of infrarenal abdominal aortic aneurysms: a realistic assessment. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 21 : 70-74

-
66. Szilagyi DE, Smith RF, DeRusso FJ et al (1966) Contribution of abdominal aortic aneurysmectomy to prolongation of life. *Ann Surg* 164: 678-699
 67. Szilagyi DE, Elliott JP, Smith RF (1972) Clinical Fate of the patient with asymptomatic abdominal aortic aneurysm and unfit for surgical treatment. *Arch Surg* 104: 600
 68. Vollmar J (1996) *Rekonstruktive Chirurgie der Arterien*. Georg Thieme, Stuttgart – New York
 69. White GH, Advani SM, Williams RA, Wilson SE (1988) Cardiac risk index as a predictor of long-term survival after repair of abdominal aortic aneurysm. *Am J Surg* 156: 103
 70. Zarins CK, Wolf YG, Lee WA et al (2000) Will endovascular repair replace open surgery for abdominal aortic aneurysm repair? *Ann Surg* 232: 501-507

7. ORIGINALARBEITEN

7.1. Abdominal aortic aneurysms

Abdominal aortic aneurysms

Risk factors and complications and their influence on indication for operation

W.A. Cappeller, M.D., H. Ramirez, M.D., H. Kortmann, M.D.

From the Department of Surgery, Ludwig-Maximilians-University Munich, Klinikum Großhadern (Head: Prof. Dr. F. W. Schildberg)

SUMMARY.—From January 1982 to June 1986 475 patients underwent operation for abdominal aortic aneurysm (AAA) with reconstruction by tube graft or bifurcation graft. Patients were subdivided into 2 groups, those operated upon either electively or those operated upon urgently. The overall hospital mortality following elective intervention was 4.9%, following emergency intervention 36.5%. In patients operated upon electively preoperative risk factors such as history of myocardial infarction or coronary artery disease did not influence mortality. In patients operated upon urgently, however, the postoperative mortality was significantly higher ($p < 0.005$) in those with a history of myocardial infarction or coronary artery disease. Postoperative morbidity in the emergency group (2.7 complications per patient) was significantly higher than in the elective group (0.94 complications per patient). These results show that early elective operation on asymptomatic aneurysms and younger patients with few risk factors can prevent rupture and reduce postoperative mortality to an acceptable level.

KEY WORDS.—Aortic aneurysm, indications for operation.

Thirty-five years ago, in 1951, Dubost first performed resection of abdominal aortic aneurysm (AAA).

Since then, the principles of surgical repair as well as intraoperative and postoperative management have become well established, supported by a highly developed monitoring system.

Simultaneously, mortality rate has steadily declined to less than 5% for elective operation in the beginning of the eighties.^{6 7 17 29} On the other hand, emergency abdominal aortic aneurysm operation continues to have a high mortality^{13 17} from blood loss and atherosclerotic risk factors like myocardial infarction or congestive heart failure.

Analysis of the differences in the preoperative risk factors, postoperative morbidity and mortality in patients with elective or emergency operations suggests the necessity of early elective operation for abdominal aortic aneurysms.

Patients and methods

The charts of 475 consecutive patients undergoing operation for AAA from January 1, 1982 to June 30, 1986 at the Department of Surgery, Klinikum Großhadern, were reviewed. The data was recorded on a "Siemens computer" and analysed by means of "Savod-Q-System"²⁰ in the Institute for Statistics and Biomathematics of the University of Munich; Chi-square test was applied for statistical evaluation. Patients were subdivided into two general groups (Table I); 349 patients (73.5%) underwent elective operation with 217 asymptomatic and 132 symptomatic AAA. The average age was 67 years and female/male ratio was 1:8.

The diagnosis was usually made as an incidental finding on routine physical, sonographic or X-ray examination; 17 patients died giving a mortality rate of 4.9%.

The other group consisted of 126 patients (26.5%) undergoing emergency operation, 28 with symptomatic aneurysms with impending rupture and 98 with ruptured aneurysms. The average age was 70.2 years and the female/male ratio 1:6.5; 46 patients died giving a mortality rate of 36.5%.

Emergency operation was defined either by a 4 hour (n=86) or 4 to 24 hour delay (n=40) between admission to the hospital and the beginning of operation. Preoperative risk factors, intraoperative characteristics and postoperative complications were related to mortality for the "elective" and the "emergency" group. Both groups were tested for statistically significant differences (Chi-square test).

Operative technique

Surgical exposure was through an abdominal midline incision. Optimal dissection was performed in order to obtain satisfactory proximal infrarenal and distal aortic or iliac cross-clamping. In emergency operations the aorta was cross-clamped below the diaphragm prior to exposure of the aneurysm, thus preventing free rupture during dissection.

After distal heparinization of the vascular lumen with 2000 units the aneurysm was opened and bleeding lumbar arteries were oversewn. No aneurysm was completely resected. Preclotted knitted Dacron grafts in elective operations or woven Dacron grafts in emergency operations were used for reconstruction. A patent inferior mesenteric artery with visible backflow was always reimplemented if the internal iliac arteries were ligated intraoperatively or obliterated by atherosclerosis. Intravascular volume replacement was controlled by Swan-Ganz catheter.

Results

Mortality

The "overall hospital mortality" came to 13.3% (63/475); 4.9% (n=17) for elective and 36.5% (n=46) for emergency surgery (Table I). Seventeen of the 63 deaths (27%) occurred after 30 days, 3 in the elective group and 14 in the emergency group (Fig. 1).

The "30 day mortality", however, was 9.7%

Table I.—Status, symptoms and sex of patients operated upon for abdominal aortic aneurysms.

	Indication for operation No. (%)		
	Elective	Emergency	Total
Patients	349 (73.5)	126 (26.5)	475 (100)
Alive	332 (95.1)	80 (63.5)	412 (86.7)
Dead	17 (4.9)	46 (36.5)	63 (13.3)
Symptoms			
asympt.	217 (62.2)	—	217 (45.7)
sympt. non ruptured	132 (37.8)	28 (22.2)	160 (33.7)
sympt. ruptured	—	98 (77.8)	98 (20.6)
Sex			
female	40 (11.5)	20 (15.9)	60 (12.6)
male	309 (88.5)	106 (84.1)	415 (87.4)

(n=46), 4.0% (n=14) occurred in the elective and 25.4% (n=32) in the emergency group; 5 intraoperative deaths with ruptured aneurysms were included.

Causes of death were multiple (Fig. 2). Cardiac deaths, including myocardial infarction (n=10) and acute congestive heart failure (n=6) as well as multiple system failure (n=18) were the most important causes. Hemorrhagic shock, congestive heart failure, pulmonary artery embolism and respiratory insufficiency caused death only in the emergency group. Four of the 5 intraoperative deaths were due to hemorrhagic shock and 1 to myocardial infarction.

Risk factors

Important risk factors for complications or death were sex, age, aneurysmal size, presence of coronary artery disease or hypertension.

There were 415 males (87.4%) and 60 females (12.6%) (Table I). The mortality rate was 12.5% (n=52) for males and 18.3% (n=11) for females and this difference was not significant either for the elective or emergency group separately.

Age

The mean age was 66.9 years ranging from 26.7 to 87.5 years in the elective group and the mean age in the emergency group was 70.2 years

CAPPELLER

ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

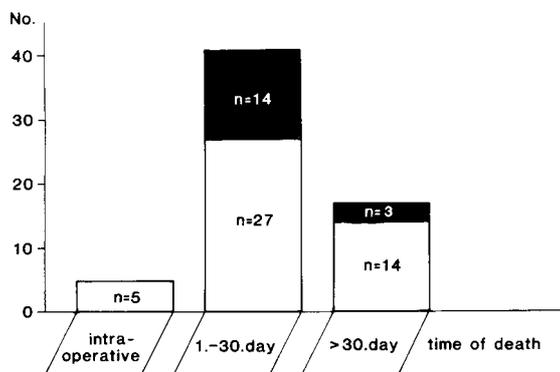


Fig. 1.—Number of deaths up to and after the 30th postoperative day following elective ■ or emergency □ operation.

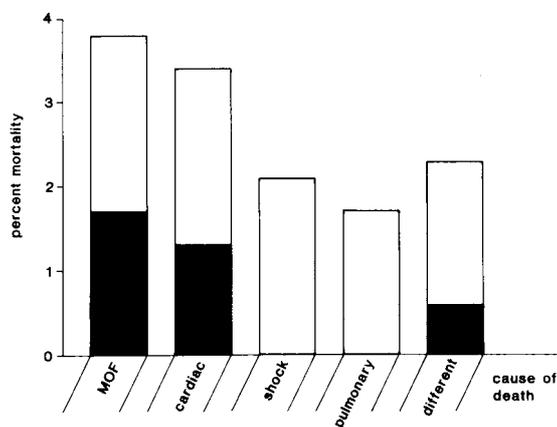


Fig. 2.—Causes of death following elective ■ and emergency □ operation (MOF= multiple organ failure).

ranging from 50.6 to 89.3 years. About 80% of the patients were between 61 and 80 years old. Twenty patients were older than 80 years (4.2%). The age distribution is shown in Fig. 3 for the elective and emergency group separately.

Age dependent mortality rates (Fig. 3) increased continuously from 0% in the group 10-50 years of age, 7.6% 51-60 years, 10.4% 61-70 years to reach 17.2% in the group of 71-80 and 25% in the group 81-90 years of age. Deaths in the elective group occurred only among the 61-70 years old patients (6.6%) and 71-80 years old patients (5.5%).

Mortality was significantly higher ($p < 0.03$) for patients older than 70 years. The greater the age

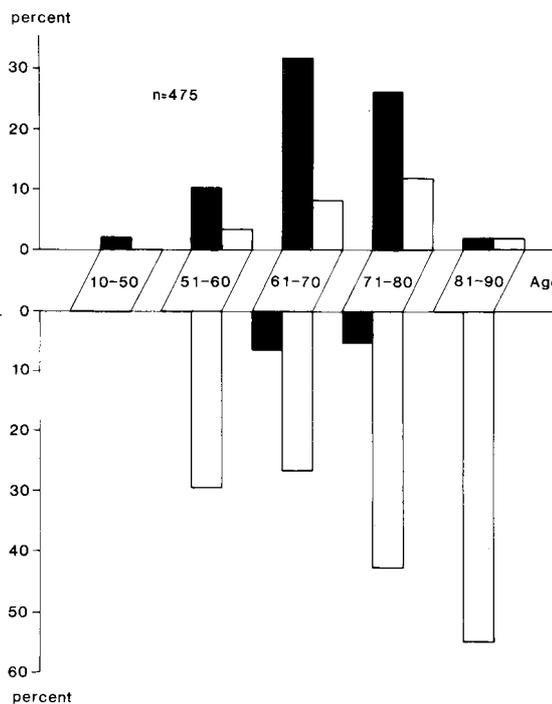


Fig. 3.—Above: age distribution (No. 475). Below: age related mortality (No. 63). Both for electively ■ and urgently □ operated patients separately.

the more often was emergency intervention required. Most deaths occurred in the emergency group: 29.4% in the 51-60 year age group, 26.8%, 43.1% and 55.5% in the 61-70, the 71-80 and the 81-90 year age groups respectively.

The size of aneurysms was also a reliable risk factor. Patients with aneurysms bigger than 5 cm in diameter died more often (14.5%) than those with aneurysms below 5 cm in diameter (7.7%). This difference was statistically significant ($p < 0.05$).

The most important acquired preoperative risks factors (Table II) were coronary artery disease and a history of myocardial infarction, hypertension, congestive heart failure and renal insufficiency. Coronary artery disease, defined as recurrent angina pectoris, typical electrocardiographic changes or coronary stenosis was the most common risk factor (57.2% and 59.6% respectively in electively or urgently operated patients). Coronary angiography was performed in 12.1% of patients ($n=42$) prior to

ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

CAPPELLER

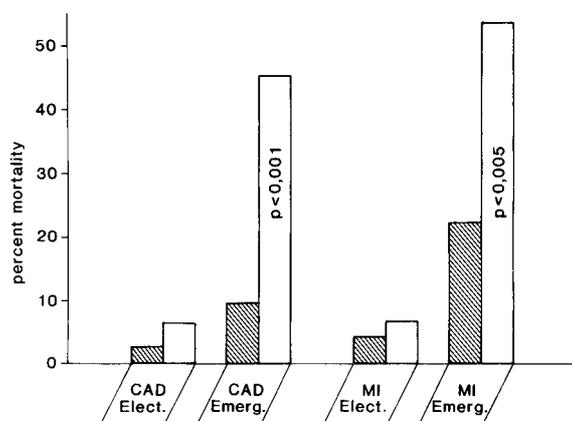


Fig. 4.—Correlation of risk factor and mortality. Risk factor absent ■ or present □. CAD=coronary artery disease. MI=myocardial infarction.

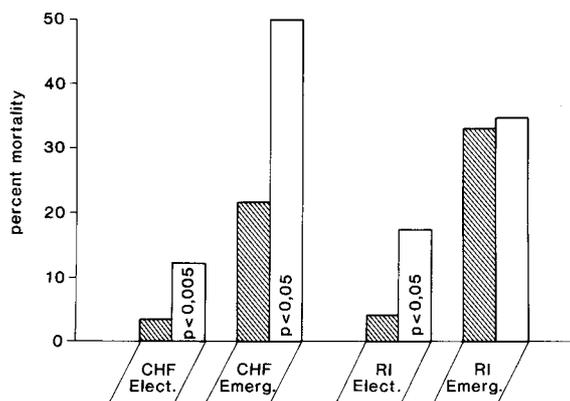


Fig. 5.—Correlation of risk factor and mortality. Risk factor absent ■ or present □. CHF=congestive heart failure. RI=renal insufficiency.

elective and in 2.4% ($n=3$) prior to emergency operation. Twenty patients had had a coronary by-pass but only one of them prior to emergency operation. A history of myocardial infarction was found in 25.4% of the elective group and 26.2% of the emergency group. Hypertension was observed in 55.9% of both groups.

Renal insufficiency, defined as a serum creatinine level higher than 1.8 mg% occurred significantly more often in the urgently operated patients (23.4%) than in electively operated ones (4.9%) ($p < 0.05$).

Correlation of risk factors and mortality (Fig. 4) showed different results for elective and

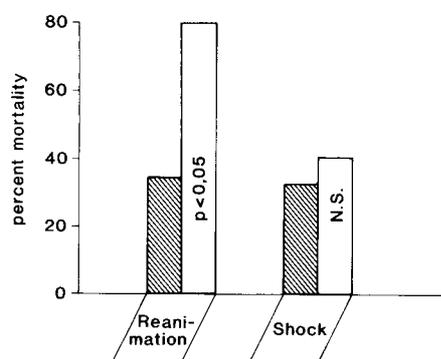


Fig. 6.—Correlation of risk factor and mortality only following emergency intervention. Risk factor absent ■ or present □ (N.S.=not significant).

emergency surgery. Of the elective group without a history of myocardial infarction 4.3% died whereas 6.8% of the same group with a history of myocardial infarction died (not significant). After emergency operation, however, 22.8% of patients without and 53.6% of those with a history of myocardial infarction died (highly significant; $p < 0.005$). Preoperative coronary artery disease does not show a significantly higher mortality after elective surgery (2.7% in those without and 6.6% with coronary artery disease). But mortality is significantly higher ($p < 0.001$) after emergency surgery (9.5% without and 45.2% with coronary artery disease).

Patients suffering preoperatively from congestive heart failure (Fig. 5) died significantly more often after elective resection ($p < 0.005$; 12.3%) and also after emergency operation ($p < 0.05$; 50%) than those without this risk factor. Successful resuscitation was performed in 5 patients prior to emergency operation (Fig. 6). However, 4 of these died, during or after surgical intervention and their mortality rate was significantly higher ($p < 0.05$) than in patients who did not require preoperative resuscitation.

Patients admitted in shock to the hospital prior to emergency operation died more often (40.4%) than those without shock (32.4%), but this was not significant.

Morbidity

On average 0.94 complications per patient were encountered for the elective group and 2.7 complications for the emergency group. This

CAPPELLER

ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

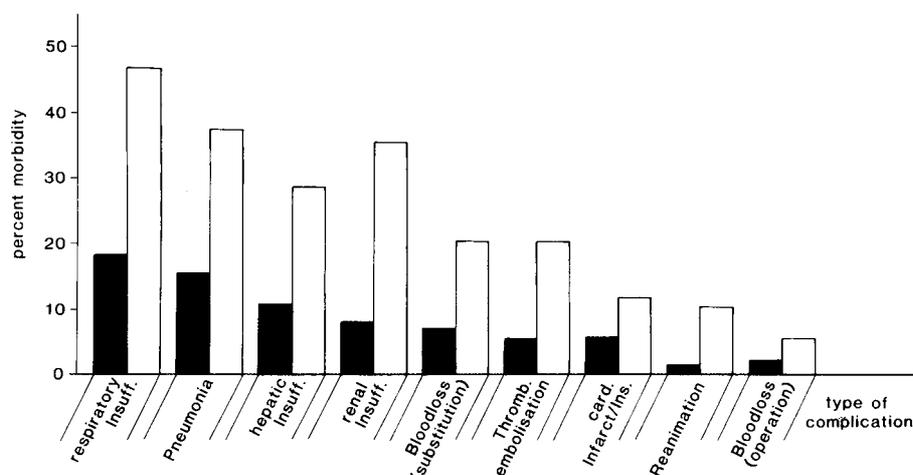


Fig. 7.—Morbidity following elective ■ or emergency □ operation in percent with significant difference $p < 0.02$ for each type of complication.

difference is highly significant. Respiratory insufficiency, pneumonia, hepatic and renal insufficiency were the most important complications for both groups (Fig. 7). A significantly higher incidence of complications after emergency operation was proven statistically for each complication. Five more complications not represented in the table because of very low incidence were gangrene of lower limbs ($n=8$), sepsis ($n=9$), pulmonary artery embolism ($n=6$), gluteal necrosis ($n=5$), and wound dehiscence ($n=3$).

Discussion

Since the beginning of aortic abdominal aneurysm surgery the mortality has progressively declined for elective surgery. The spread of noninvasive sonographic and radiologic systems as well as awareness of the risk of rupture if surgery is delayed have resulted in earlier diagnosis and treatment.²⁵

Thus, the incidence of ruptured aneurysms has decreased in some centers in the USA.¹⁷ Simplified methods of repair and progress in intraoperative cardiopulmonary monitoring and fluid balance have also reduced perioperative complications. Postoperative intensive care medicine has largely contributed to a lower risk. Consequently Darling⁷ reduced the mortality in elective abdominal aortic aneurysm surgery from

9.6% in the fifties (1953-1960) to 1.7% in the seventies (1971-1979). Hicks¹² hospital mortality decreased from 13% (1955-1965) to 4.2% (1972-1974). Thompson's²⁵ operative mortality fell from 17% (1954-1961) to 5.5% (1968-1974) and Crawford's⁶ from 14.3% (1955-1960) to even 0% in 1979-1980.

However, mortality rates are not uniformly defined in these communications and can mean either "in-hospital" or "thirty day mortality". Furthermore as a consequence of improvements in intensive care medicine death is now often delayed, as shown in Fig. 1 so that the difference between "30 day mortality" and "overall hospital mortality" is increasing. To avoid these differences in the future one should therefore consider exclusively the "overall hospital mortality" and abolish the misleading "30 day mortality".

At the present time the mortality associated with elective asymptomatic aneurysm operations ranges from 1.3% "30 day mortality"¹⁹ to 4.9% "overall hospital mortality" in our clinic. In contrast the mortality rate for symptomatic but unruptured aneurysms ranges from 14.3%¹⁷ to 26.5%.¹¹

Mortality following emergency operations for ruptured aneurysms, has not altered since the first performance of this operation. Young³⁰ for example reported the same mortality (52.5% respectively 51.1%) for two groups of ruptured

aneurysms operated upon between 1958 and '68 and 1968 and 76. Even at the end of the seventies death rates range from 45%¹⁰ to 60%.²³ Compared with patients coming for an elective operation those entering the emergency admission present themselves in a far worse condition, mostly shocked and needing an immediate intervention without any preoperative preparation period. Thus a high mortality results.

Sex did not influence mortality significantly either following emergency or elective surgery. The higher female mortality in this study (Table I) depends on the greater female proportion (33%) of emergency operations in comparison to the male proportion (25.5%). De Bakey⁸ and Yasher,²⁸ however, reported a relatively higher female mortality.

Aneurysmal size in terms of transverse diameter taken by means of ultrasonography, computerized tomography or intraoperative measurement had a significant effect on mortality, specially in aneurysms bigger than 5 cm in diameter. Different authors have also pointed out the relationship between aneurysm size and death.¹⁻⁵ Bernstein¹ calculated the yearly growth rate to be 0.4 cm; nevertheless, even small aneurysms can rupture.⁶

The risk of rupture at any time and the fact of advancing age should favour an early operation at the time of diagnosis if the diameter reaches more than 4 cm.

Age is not generally considered a risk factor for elective operation. As mentioned previously mortality was significantly higher ($p < 0.03$) for patients older than 70 years, but if the subgroup of electively operated patients alone is considered the highest mortality of 7.6% is in the 61-70 years group (Fig. 3). There is not a significantly higher mortality for even older people. This remarkable finding confirms Yeager's communication.²⁹ Therefore age alone generally should not be a contraindication to elective operation.

The most widespread preoperative risk factors unanimously accepted by every author and based on general atherosclerosis are coronary artery disease, a history of myocardial infarction, congestive heart failure and—to a lesser extent—hypertension (Tab. II). The most surprising and unique result is that the highly signifi-

Table II.—Frequency of general risk factors.

	Elective %	Emergency %	Significance %
Coronary artery disease	57.2	59.6	n.s.
Myocardial infarction	25.4	26.2	n.s.
Congestive heart failure	16.5	16.8	n.s.
Hypertension	55.9	55.9	n.s.
Renal insufficiency	4.9	23.4	$p < 0.05$

cant correlation between coronary artery disease and a history of myocardial infarction with mortality only prevails in cases undergoing emergency operations. It can therefore be concluded that regular preoperative cardiologic examination and preparation in patients for elective operation will improve the outcome: mortality following elective surgery is not significantly greater in patients with coronary artery disease or those with a history of myocardial infarction.

Yeager,²⁹ however, provided a significant contribution by emphasizing the unfavourable 30 day-outcome in cases with a history of myocardial infarction in operations for non-ruptured aneurysms. Preoperative coronary angiography recommended by Herzer in 1980¹¹ has been abandoned in recent years.²⁹ Patients lacking clinical evidence of coronary artery disease do not require any further invasive cardiac testing prior to operation. Only in case of advanced or highly symptomatic coronary artery disease does the cardiologist insist on further investigations.

Congestive heart failure, present in 15% of our patients, seems to be less influential than coronary artery disease but mortality correlates significantly with congestive heart failure following both, elective and emergency operations.

Hypertension, the risk factor with the second highest incidence (Table II), is certainly of minor importance and does not influence mortality. This was also shown by Yeager.²⁹

Every patient requiring resuscitation has a statistically significant increase in mortality. Mortality following preoperative aneurysmal rupture accompanied by hemorrhagic shock has a three fold increase in mortality compared to those not shocked.³⁰ Based on a literature

CAPPELLER

ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

review, Young reported a mortality of 77% in patients with preoperative shock as compared with 29% in cases of operation for rupture without shock. However, our results have not confirmed this and shocked patients operated upon urgently died as often as the non-shocked patients.

As mentioned earlier (Fig. 3) the "overall hospital mortality" was predominantly influenced by the death rate of emergency and ruptured aneurysms. Early operation on asymptomatic aneurysms more than 4 cm in diameter and in younger patients who have fewer risk factors can prevent subsequent complications, especially that of aneurysmal rupture which is the most disastrous complication of all.

Author's footnote.—The grouping "elective" and "acute" aneurysms was chosen to point out the significantly better outlook of elective aneurysms in contrast to all acute aneurysms. Even the small group of acute penetrating aneurysms (n=28) without rupture had a significantly worse outcome than elective aneurysms. Therefore the acute penetrating ones were included in the group of acute aneurysms together with ruptured aneurysms.

References

- Bernstein EF, Chan EL. Abdominal aortic aneurysm in high-risk patients. *Ann Surg* 1984; 200:255.
- Bjerkelund CE, Smith-Erichsen N, Solheim K. Abdominal aortic reconstruction. Prognostic importance of coexistent diseases. *Acta Chir Scand* 1986; 152:111.
- Brown OW, Hollier LH, Pairolero PC, Kazmier FJ, McCready RA. Abdominal aortic aneurysm and coronary artery disease. A reassessment. *Arch Surg* 1981; 116:1484.
- Bush HL, Huse JB, Johnson WC, O'Hara ET, Nabseth DC. Prevention of renal insufficiency after abdominal aortic aneurysm resection by optimal volume loading. *Arch Surg* 1981; 116:1517.
- Bush HL, LoGerfo FW, Weisel RD, Mannick JA, Hechtman HB. Assessment of myocardial performance and optimal volume loading during elective abdominal aortic aneurysm resection. *Arch Surg* 1977; 112:1301.
- Crawford ES, Saleh SA, Babb III JW, Glaeser DH, Vaccaro PS, Silvers A. Infrarenal abdominal aortic aneurysm: Factors influencing survival after operation performed over a 25-year period. *Ann Surg* 1981; 193:699.
- Darling RC, Brewster DC. Elective treatment of abdominal aortic aneurysms. *World J Surg* 1980; 4:661.
- DeBaKey ME, Crawford ES, Cooley DA *et al.* Aneurysm of abdominal aorta. *Ann Surg* 1964; 160:622-638.
- O'Donnell TF, Darling RC, Linton RR. Is 80 years too old for aneurysmectomy? *Arch Surg* 1976; 111:1250.
- Donovan DL, Sharp WV. Abdominal aortic aneurysm and the pseudorupture syndrome. *Surg Gynecol Obstet* 1986; 162:453.
- Hertzner NR. Fatal myocardial infarction following abdominal aortic aneurysm resection. *Ann Surg* 1980; 192:667.
- Hicks GL, Eastland MW, DeWeese JA, May AG, Rob CG. Survival improvement following aortic aneurysm resection. *Ann Surg* 1975; 181:863.
- Hoffmann M, Avellone JC, Plecha FR, Rhodes RS, Donovan DL, Beven EG, DePalma RG, Frisch JA. Operation for ruptured abdominal aortic aneurysms. A community-wide experience. *Surgery* 1982; 91:597.
- Jenkins AMcl, Ruckley CV, Nolan B. Ruptured abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg* 1986; 73:395.
- Kortmann H, Cappeller W, Becker HM. Risikofaktoren und Frühkomplikationen bei elektiver und notfallmäßiger Ausschaltung infrarenaler Bauchorta-aneurysmen. *Angio* 1985; 3:139.
- Lawrie GM, Morris GC, Crawford ES *et al.* Improved results of operation for ruptured abdominal aortic aneurysms. *Surgery* 1979; 85:483.
- McCabe CJ, Coleman WS, Brewster DC. The advantage of early operation for abdominal aortic aneurysm. *Arch Surg* 1981; 116:1025.
- McCombs PR, Roberts B. Acute renal failure following resection of abdominal aortic aneurysm. *Surg Gynecol Obstet* 1979; 148:175.
- Ruby ST, Whittemore AD, Couch NP, Collins JJ, Cohn L, Shemin R, Mannick JA. Coronary artery disease in patients requiring abdominal aortic aneurysm repair. *Ann Surg* 1985; 201:758.
- Selbmann HK, Raab A. Savod-Q, Sammel und Auswertungssystem voll-dynamischer Datenbestände. *Technischer Bericht Nr. 3.*
- Smead WL, Vaccaro PS. Infrarenal aortic aneurysmectomy. *Surg Clin North Am* 1983; 63:1269.
- Smith PK, Fuchs JCA, Sabiston DC. Surgical management of aortic abdominal aneurysms in patients with severe pulmonary insufficiency. *Surg Gynecol Obstet* 1980; 151:407.
- Soreide O, Lillestol J, Christensen O, Grimsgaard C, Myhre HO, Solheim K, Trippestad A. Abdominal aortic aneurysms. Survival Analysis of four hundred thirty-four patients. *Surgery* 1982; 91:188.
- Stokes J, Butcher HR. Abdominal aortic aneurysms. Factors influencing operative mortality and criteria of operability. *Arch Surg* 1973; 107:297.
- Thompson JE, Hollier LH, DonPatman R, Persson AV. Surgical management of abdominal aortic aneurysms. Factors influencing mortality and morbidity, a 20 year experience. *Ann Surg* 1975; 181:654.
- Wakefield TW, Whitehouse WM, Wu SC *et al.* Abdominal aortic aneurysm rupture. Statistical analysis of factors affecting outcome of surgical treatment. *Surgery* 1982; 91:586.
- Whittemore AD, Clowes AW, Hechtman HB, Mannick JA. Aortic aneurysm repair. Reduced operative mortality associated with maintenance of optimal cardiac performance. *Ann Surg* 1980; 192:414.
- Yashar JJ, Indeglia RA, Yashar J. Surgery for abdominal aortic aneurysms. *Am J Surg* 1972; 123:398-405.
- Yeager RA, Weigel RM, Murphy ES, McConnell DB, Sasaki TM, Vetto RM. Application of clinically valid cardiac risk factors to aortic aneurysm surgery. *Arch Surg* 1986; 121:278.
- Young AE, Sandberg GW, Couch NP. The reduction of mortality of abdominal aortic aneurysm resection. *Am J Surg* 1977; 134:585.

[Author's address:

W.-A. Cappeller
 Chirurgische Klinik und Poliklinik
 der Universität München
 Klinikum Grosshadern
 Marchioninstr. 15
 D-8000 München 70]

7.2. Das infrarenale Aortenaneurysma – 10-Jahres-Verlauf nach
Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse

Das infrarenale Aortenaneurysma – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse

W.-A. Cappeller, M. H. Hinz und L. Lauterjung

Chirurgische Klinik und Poliklinik (Direktor: Prof. Dr. F. W. Schildberg), Klinikum Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität München

Abdominal aortic aneurysm: postoperative 10-year follow-up with cost analysis

Summary. Between 1978 and 1987, a total of 770 patients suffering from an infrarenal aortic aneurysm were operated upon electively (71.6%) or on an emergency basis (28.4%); mortality in hospital was 6.2% and 40% respectively. In 96.2% of the patients we received information concerning status and the cause of death. Overall survival following elective surgery was 64.6% at 5 years and 41% at 10 years, mean survival being 95.1 months. Following emergency surgery the survival rate was 38.7% and 24.1% at 5 and 10 years, mean survival being 57.3 months. Age, coronary artery disease and hypertension had a negative impact on the long-term results. The costs were calculated based on the mean length of hospital stay of 16.4 days for elective and 19.1 days after emergency surgery.

Key words: Abdominal aortic aneurysm – Long-term follow-up – Mortality – Survival – Cost analysis.

Zusammenfassung. Zwischen 1978 und 1987 wurden 770 Patienten wegen eines infrarenalen Aortenaneurysmas elektiv (71,6%) oder notfallmäßig (28,4%) operiert; die Hospitalletalität betrug 6,2% bzw. 40%. Bei 96,2% der Patienten konnten Informationen über Status und Todesursache eingeholt werden. Die kumulierte Überlebensrate nach elektivem Eingriff betrug nach 5 Jahren 64,6% und nach 10 Jahren 41%, die mittlere Überlebenszeit 95,1 Monate. Nach Notfalleingriff ergaben sich Überlebensraten von 38,7% bzw. 24,1% mit einer mittleren Überlebenszeit von 57,3 Monaten. Alter, coronare Herzkrankheit und Hypertonus beeinflussten die Langzeitergebnisse negativ. Die Kosten ließen sich anhand der durchschnittlichen stationären Therapiedauer von 16,4 Tagen nach elektivem und 19,1 Tagen nach Notfalleingriff berechnen.

Schlüsselwörter: Infrarenales Aortenaneurysma – Langzeitverlauf – Letalität – kumulierte Überlebensrate – Kostenanalyse.

Vor der Ära der chirurgischen Therapie lag die 5-Jahres-Letalität von Patienten mit infrarenalem Aortenaneurysma (BAA) bei 81%, wobei in zwei Dritteln die Aneurysmaruptur Todesursache war [7]. Noch in den Anfängen des Sonographiezeitalters wurde eine spontane 2-Jahres-Letalität von 72% seit Diagnose von Aneurysmen von mehr als 6 cm Durchmesser dokumentiert [21]. Seit Verbreitung der Ausschaltungsoperation von BAA Ende der 50er Jahre hat sich die Prognose grundlegend gebessert. Ungeachtet der zunehmenden operativen Erfahrung und der verfeinerten begleitenden Maßnahmen trug im wesentlichen die größere Zahl elektiver Eingriffe infolge einer höheren Incidenz [17] und vor allem einer früheren Diagnostik asymptomatischer BAA zu diesem Erfolg bei [2, 22]. Somit ließ sich die Indikation zur Operation auf alte Hochrisikopatienten ausweiten. Ende der 80er Jahre wurde dennoch eine perioperative Letalität von etwa 5% in den führenden Zentren erreicht [3, 4, 6, 9, 13, 20]. Um so notwendiger erscheint es, die Lebenserwartung nach elektiver Ausschaltungsoperation unter Berücksichtigung der Frühergebnisse und in Abhängigkeit von Risiko und Alter erneut zu diskutieren und mit denen nach Notfalleingriff zu vergleichen. Zukünftig werden insbesondere auch die Ergebnisse nach Stent-Einlage an denen nach herkömmlicher Operation gemessen werden müssen [1]. In Anbetracht des neuerlich entstandenen Kostenbewußtseins ergibt sich darüber hinaus die Frage nach den Therapiekosten bezogen auf die Langzeitergebnisse.

Patienten und Methoden

Klinik

In dem 10-Jahres-Zeitraum 1. 1. 1978 bis 31. 12. 1987 wurden im Klinikum Großhadern der LMU München 770 Patienten wegen eines atherosklerotischen infrarenalen BAA operiert. Die Indikation zur elektiven Operation basierte im wesentlichen auf einem maximalen Aneurysma-Durchmesser von 4,5 cm bei asymptomatischen Patienten. Dieser Aneurysma-Durchmesser und die Ausdehnung des Aneurysmas nach cranial und caudal wurden routinemäßig computertomographisch bestimmt. Eine Angiographie er-

698

W. A. Cappeller et al.: Infrarenales BAA – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse

folgte nur bei spezieller Fragestellung, nämlich bei klinischem oder computertomographischem Verdacht auf Stenosen, Verschlüsse oder weitere Aneurysmen im Bereich der Nieren-, Becken- und peripheren Arterien.

Intraoperativ wurde transperitoneal in „Graft-inclusion-Technik“ die Prothese anastomosiert, das Aneurysma somit ausgeschaltet und der Aneurysmasack um die Prothese verschlossen. Die A. mesenterica inferior wurde nur bei Verschluss beider Aa iliaca internae reimplantiert.

Datenerhebung

Retrospektiv wurde aus den Krankenakten der Geburtstag, der Tag und die Dringlichkeit der Operation sowie der Todestag der im Krankenhaus Verstorbenen ($n = 123$, 16,0%) erfaßt. Da die Angaben der präoperativ erhobenen Risikofaktoren, coronare Herzkrankheit (KHK) und Hypertonus, vor Notfalleingriff unvollständig waren, konnten diese nur für die elektiv operierten Patienten ausgewertet werden. Darüber hinaus wurden die Patienten mindestens 5 bis mehr als 12 Jahre postoperativ, bezogen auf die letzte in die Datei aufgenommene Operation, kontaktiert. Die Kontaktaufnahme erfolgte nach Möglichkeit telefonisch direkt mit dem Patienten oder mit seinen Angehörigen. Im Einzelfall wurde der Hausarzt oder das zuletzt behandelnde Krankenhaus eingeschaltet. So erhielten wir das Kontroll- oder das Todesdatum bei 96,2% aller operierten Patienten (740/770), Voraussetzung zur Kalkulation der Überlebenskurven. Wenn möglich wurde gegebenenfalls die Todesursache in Erfahrung gebracht.

Statistik

Mithilfe des Softwareprogramms SPSS (Version 6.0.1, SPSS Inc, Chicago, Ill. USA) berechneten wir die kumulierte Überlebensrate nach Kaplan-Meier und die mittlere Überlebenszeit für verschiedene Untergruppen. Die Überprüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den Überlebenskurven erfolgte mittels Log-rank-Test. Eine Wahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurde als statistisch signifikant betrachtet.

Ergebnisse

Allgemeine Daten und Hospitalletalität

Von den 770 Patienten wurden 545 elektiv (71,6%) und 225 notfallmäßig (28,4%), d. h. im Stadium der Ruptur (frei oder gedeckt) oder der Penetration, spätestens innerhalb von 24 Std, operiert. Bei dem Gesamtpatientengut handelte es sich um 677 (88%) Männer und 93 (12%) Frauen mit einem mittleren Alter von 67,8 Jahren. Rohrprothesen wurden bei 460 (59%) und Bifurkationsprothesen bei 310 Patienten (41%) mit arteriellem Verschlusleiden der Beckenstrombahn oder Ausdehnung des Aneurysmas nach iliacal implantiert.

Von den 770 operierten Patienten verstarben in der Klinik vor Entlassung (Hospitalletalität) 123 (16,0%), 34 (6,2%) nach elektiver und 89 (40%) im Rahmen einer Notfalloperation. Die 30-Tage-Letalität hingegen betrug 13% (100 Patienten) und schließt 13 intraoperativ verstorbene Notfallpatienten ein. Ursächlich standen dabei Komplikationen einer Ruptur, wie Schock und Multiorganversagen (44%), im Vordergrund (Tabelle 1). An kardialer Ursache verstarben 28,5% der operierten Patienten.

Tabelle 1. Ursachen der Hospitalletalität

Todesursachen	Hospitalletalität	
	(n)	[%]
kardial	35	28,5
Multiorganversagen	33	26,8
Schock	21	17,1
pulmonal	14	11,4
Sepsis	12	9,8
cerebral	3	2,4
sonstige	5	4,1
gesamt	123	100

Tabelle 2a, b. Überlebensraten nach 5 und 10 Jahren und mittlere Überlebenszeit in Abhängigkeit vom Alter nach **a** Elektiv-Operation und **b** Notfall-Operation (inkl. Hospitalletalität)

Altersgruppe [Jahre]	Patienten (n)	Überlebensrate [%]		mittlere Überlebenszeit [Monate ± SEM]
		5 J.	10 J.	
a Elektiv-Operation				
< 60	103	82	57	118 ± 6,3
≤ 70	230	67	42	97 ± 4,2
> 70	188	52	31	76 ± 4,2
gesamt	521	64,6	41,0	95,1 ± 3,0
b Notfall-Operation				
< 60	28	68	29	81 ± 10,5
≤ 70	75	45	34	70 ± 7,9
> 70	114	26	17	39 ± 4,9
gesamt	217	38,7	24,1	57,3 ± 4,5

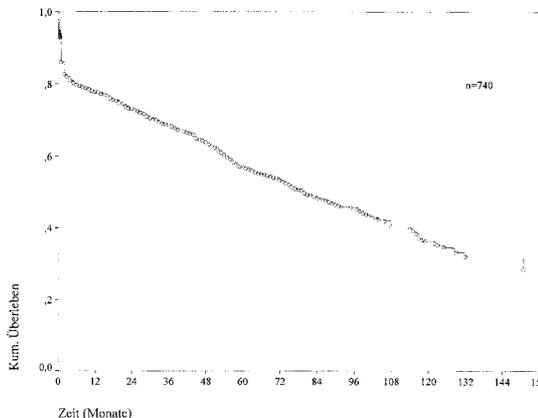


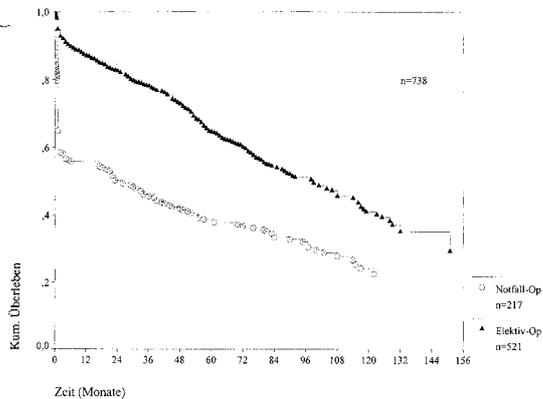
Abb. 1. Kumulierte Überlebensrate des Gesamtkollektivs, inkl. Hospitalletalität

Langzeitverlauf

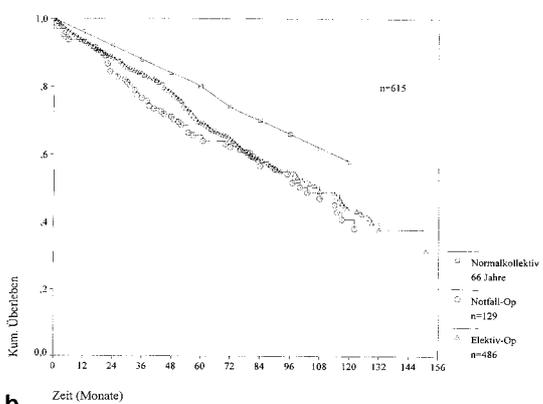
Unter Einschluß der Hospitalletalität beläuft sich die kumulierte Überlebensrate aller Patienten nach 5 Jahren auf 57,1% und nach 10 Jahren auf 36,3% (Abb. 1). Nach elektiver Operation sind diese Raten mit 64,6 und 41% erwartungsgemäß deutlich besser als nach Notfall-Operation mit 38,7 und 24,1% (Abb. 2a). Die

W. A. Cappeller et al.: Infrarenales BAA – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse

699

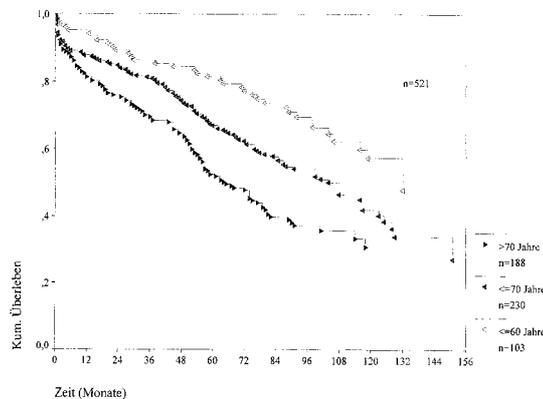


a

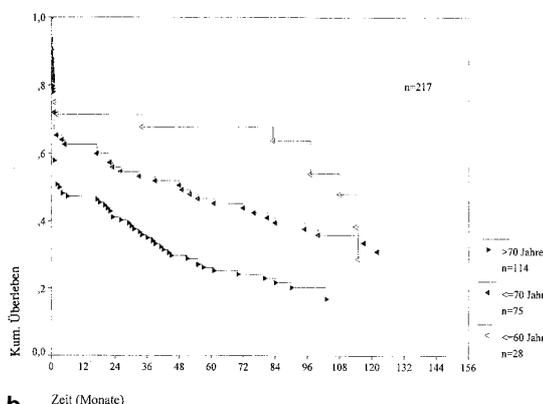


b

Abb. 2a, b. Kumulierte Überlebensraten nach Elektiv- und Notfall- eingriff. **a** inkl., **b** exkl. Hospitalletalität, im Vergleich mit einem Normalkollektiv 66jähriger Männer ohne Aneurysma



a



b

Abb. 3a, b. Kumulierte Überlebensraten nach **a** Elektiv- und **b** Notfall- eingriff bei 3 Altersgruppen: „ ≤ 60, 60 ≤ 70 und > 70 Jahre“, inkl. Hospitalletalität

mittlere Überlebenszeit liegt mit 95,1 + 3,0 Monaten nach Elektiveingriff deutlich über den 57,3 + 4,5 Monaten nach Notfalleingriff. Unter Ausschluß der Hospitalletalität, die bei Notfallpatienten mit Schockfolge 40 % betrug, verlaufen beide Überlebenskurven kongruent (Abb. 2b), die Patienten haben die gleiche Lebenserwartung.

Das Alter ist ein bekannter Risikofaktor. Die kumulierten Überlebensraten und die mittlere Überlebenszeit nach Altersgruppen (≤60, 60 ≤70 und > 70 Jahre) unterscheiden sich nach elektivem und nach Notfalleingriff jeweils signifikant voneinander (je $p < 0,001$) (Abb. 3, Tabelle 2). Die vor Elektiveingriff dokumentierte KHK bei 55,3 % der Patienten beeinflusst die Überlebensrate und die mittlere Lebenserwartung negativ. Die Ergebnisse bei Patienten mit KHK sind signifikant schlechter ($p < 0,02$; Abb. 4). Der Hypertonus zeigte ebenfalls einen negativen, signifikanten Einfluß auf die Langzeitergebnisse nach elektiver Operation ($p < 0,02$; Abb. 5).

Als Ursachen der Spätletalität standen mit knapp 48 % kardiale Ursachen im Vordergrund (Tabelle 3).

Fast 14 % der Patienten verstarben an Malignomen, der zweithäufigsten Todesursache.

Kosten

Im Mittel mußten die Patienten 3 Tage vor und 13,4 Tage nach elektiver Operation stationär in unserer Klinik behandelt werden, 12,8 Tage die erfolgreich Operierten und 22,3 Tage die Verstorbenen. Danach erfolgte die Entlassung oder Verlegung zur Weiterbehandlung und Rehabilitation. Nach Notfalloperation betrug die mittlere stationäre Therapiedauer 19,1 Tage, 18,8 für die erfolgreich Operierten und 19,8 für die Verstorbenen. Unter Berücksichtigung des stationären Tagespflegesatzes von DM 565,- (Intensivtherapie und Operationskosten eingeschlossen, im Jahr 1995) ergeben sich durchschnittliche Therapiekosten von DM 9200,- nach elektiver und DM 10800,- nach Notfalloperation. Diese Kostenschätzung bezieht sich ausschließlich auf die Therapiedauer im Klinikum Großhadern.

700 W.A. Cappeller et al.: Infrarenales BAA – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse

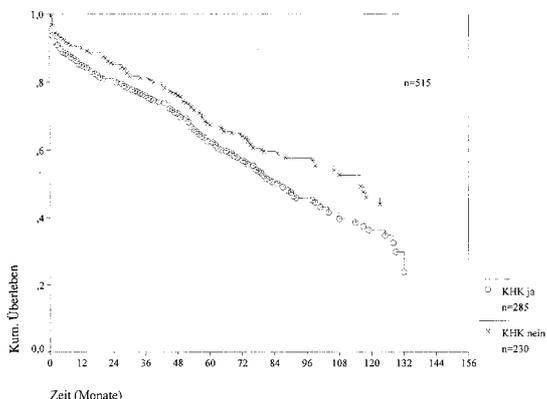


Abb. 4. Kumulierte Überlebensrate nach Elektiveingriff, mit und ohne coronarer Herzkrankheit (KHK), inkl. Hospitalletalität

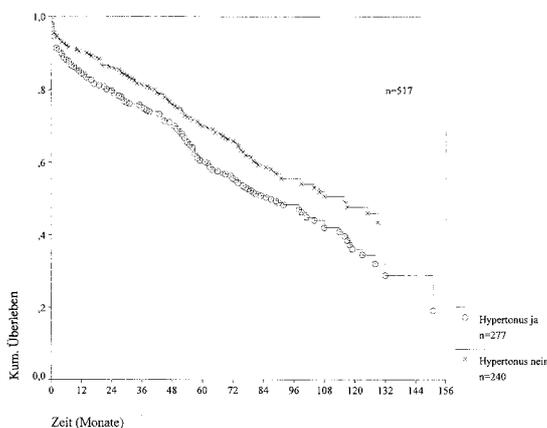


Abb. 5. Kumulierte Überlebensrate nach Elektiveingriff, mit und ohne Hypertonus, inkl. Hospitalletalität

Diskussion

Perioperative Letalität

Für die Beurteilung der Langzeitprognose anhand von Kaplan-Meier-Überlebenskurven nach operativem Eingriff muß festgelegt sein, inwieweit eine perioperative Letalität miteinberechnet ist. Außerdem sollte die Letalität genau definiert sein. Die unterschiedlichen Definitionen und teilweise fehlenden Angaben in der Literatur erschweren jedoch einen direkten Vergleich [3].

Die 30-Tage-Letalität schließt die Patienten aus, die beispielsweise infolge einer monatelangen Intensivtherapie bei Multiorganversagen erst nach diesem Zeitraum versterben [3]. Die Hospitalletalität hingegen berücksichtigt die Verstorbenen während des gesamten stationären Aufenthaltes und ist damit immer höher als die 30-Tage-Letalität [3, 4, 8]. In dieser Studie liegt die Hospitalletalität 3 Prozentpunkte über der 30-Tage-Le-

Tabelle 3. Ursachen der Spätletalität (nach Entlassung)

Todesursachen	Spätletalität	
	(n)	[%]
kardial	144	47,8
Malignome	41	13,6
BC	15	
GI	10	
sonstige	16	
cerebral	27	9,0
pulmonal	13	4,3
gastrointestinal	9	3,0
vasculär	10	3,3
sonstige	57	18,9
gesamt	301	100

Tabelle 4a, b. Überlebensrate nach 5 und 10 Jahren und perioperative Letalität nach **a** Elektiv-Operation und **b** Notfall-Operation (30 Tage = Letalität während der ersten 30 Tage im Krankenhaus; Hospital = Letalität während des gesamten stationären Aufenthaltes; ? = keine näheren Angaben; i = inklusiv, Letalität in Überlebensrate eingerechnet; e = exklusiv

Autor	Patienten (n)	Überlebensrate [%]		Letalität [%]
		5 J.	10 J.	
a Elektiv-Operation				
Crawford [5]	857	63	38	4,8 (30 Tage) i
Soreide [18]	200	71		3,5 (30 Tage) i
Reigel [14]	499	74		2,8 (?) e
Rohrer [16]	91	75	38	6,0 (Hospital) e
White [23]	96	61		3,1 (30 Tage) i
Stonebridge [19]	311	70	45 (8 J.)	3,8 (?) e
eigene	521	65	41	6,2 (Hospital) i
b Notfall-Operation				
Soreide [18]				
(rupt.)	173	28		59,0 (30 Tage) i
(penet.)	61	44		24,6 (30 Tage) i
Rohrer [16]	60	51		36,9 (Hospital) e
Stonebridge [19]	227	63	41 (8 J.)	26,8 (?) e
Johnston [12]	147	26		51,4 (30 Tage) i
eigene	217	39	24	39,6 (Hospital) i

talität. Ganz isoliert erscheint die Definition eines einzigen Autors, der Hospitalletalität als 30-Tage-Letalität sieht [18]. Unseres Erachtens sollte die Hospitalletalität von etwa 6 % nach Elektiveingriff (Tabelle 4a) und vor allem die unverändert hohe und variable Letalität nach Notfalleingriff (Tabelle 4b) in den Langzeitergebnissen mitberücksichtigt werden.

Die Ursachen der Hospitalletalität lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen. Bei initial kreislaufstabilen Patienten ohne chirurgische Komplikation steht als Todesursache ein kardiales Versagen, oft als Ausdruck einer KHK und einer generalisierten Atherosklerose, im Vordergrund. Patienten, die initial oder perioperativ einen Schock erleiden, versterben unmittelbar oder mittelbar (Multiorganversagen) an den Schockfolgen (Tabelle 1).

Langzeitverlauf

Unter Einschluß der Hospitalletalität wird heute allgemein von einer kumulierten 5-Jahres-/10-Jahres-Überlebensrate von 60–75 bzw. 40 % nach elektiver Operation berichtet (Tabelle 4a). Die Altersgruppen „60–70 Jahre“ und „> 70 Jahre“ beeinflussen deutlich die Überlebensraten (Tabelle 2a) [11, 23]. Unter Ausschluß der Hospitalletalität verlaufen die Überlebenskurven nach Elektiv- und Notfalleingriff kongruent (Abb. 2b), d. h. es handelt sich um ein identisches Krankengut. Erwartungsgemäß hat im Vergleich dazu das Normalkollektiv von gleichaltrigen Männern eine signifikant bessere Lebenserwartung (Abb. 2b) [10].

Nach Notfalleingriff zeigt die kumulierte 5-Jahres-Überlebensrate ein uneinheitliches Bild, das hauptsächlich auf die unterschiedliche Berücksichtigung der perioperativen Letalität zurückzuführen ist (Tabelle 4b). Ein weiterer Einflußfaktor von erheblicher Relevanz ist die Definition der Notfall-Operation, die neben frei und gedeckt rupturierten BAA auch penetrierende einschließen kann und daher eine wesentliche Mitursache der unterschiedlichen Überlebensraten ist (Tabelle 4b) [3].

Die KHK ist mit Abstand der wesentlichste perioperative Risikofaktor. Die Existenz eines BAA muß bereits als Indikator einer signifikanten Coronarsklerose im Rahmen der systemischen Atherosklerose gelten [15]. Da diese Patienten zum Diagnosezeitpunkt des BAA häufig nur milde Symptome aufweisen (bei 4 % drittgradige KHK mit Angina), ist eine präoperative fundierte Abklärung unabdingbar [15]. Vor Elektiveingriff wurde die KHK bei 55 % unserer Patienten kardiologischerseits diagnostiziert. Aufgrund der Tatsache, daß Patienten im 5. und 6. Lebensjahrzehnt mit KHK eine schlechtere Überlebensrate als das altersentsprechende Vergleichskollektiv aufweisen, könnten diese von einer aggressiveren Therapie hinsichtlich der KHK profitieren [14]. Trotz kardiologischer präoperativer Therapie, konservativ oder in wenigen Fällen auch operativ, findet sich eine signifikant bessere Überlebensrate bei Patienten ohne KHK im Vergleich zu Coronarkranken ($p < 0,02$; Abb. 4) [11, 14]. Insbesondere bleibt der Einfluß selektiver coronarer Revascularisationen auf die Spätletalität unklar [14]. Die häufigste Todesursache bleibt unumstritten mit ca. 45 % ein kardiales Versagen infolge KHK. Auch die weiteren Ursachen der Spätletalität zeigen eine uniforme Verteilung auf (Tabelle 3) [5, 10, 11]. An zweiter Stelle rangieren mit knapp 15 % Malignome verschiedener Ausgangslokalisationen. Vasculäre Komplikationen mit Todesfolge ohne direkten Bezug zur Primäroperation wie z. B. ein rupturiertes thorakales Aortenaneurysma nehmen hier 3 % ein.

Kostenanalyse

Die Kostenanalyse stützt sich auf den Tagespflegesatz von 1995, in den die Kosten der Intensivtherapie eingearbeitet sind, und auf die durchschnittliche stationäre Aufenthaltsdauer im Klinikum Großhadern. Kosten

von DM 9200,- bei elektiver Operation stehen nur geringfügig höheren Kosten nach Notfalleingriff von DM 10800,- gegenüber. Mit der Tagessatzkalkulation wird die deutlich unterschiedliche Dauer der Intensivtherapie (4,3 Tage nach Elektiv-, 10,4 Tage nach Notfalleingriff) bei annähernd gleichlanger Gesamtbehandlungszeit nicht berücksichtigt. Darüber hinaus entfallen immerhin bei einem Notfalleingriff 3 Tage der präoperativen Diagnostik vor Elektiveingriff. Werden die Kosten auf die durchschnittliche Überlebenszeit in Monaten bezogen, so errechnen sich nach Elektiveingriff Behandlungskosten von DM 97,-/Monat und nach Notfalleingriff DM 190,-/Monat und ähneln denen von Rohrer berechneten Kosten [16]. Geringe Folgekosten für selten indizierte Nachuntersuchungen sind nicht mitberechnet, machen aber sicher keine erheblichen Änderungen aus.

Zusammenfassend rechtfertigen die guten Langzeitergebnisse – insbesondere auch im hohen Lebensalter von > 70 Jahren mit einer 10-Jahres-Überlebensrate von 30 % – die Operation. Daran werden die Ergebnisse nach Stent-Implantation gemessen werden müssen [1].

Literatur

1. Allenberg J-R, Schuhmacher H (1995) Endovasculäre Rekonstruktion des infrarenalen abdominalen Aortenaneurysmas (AAA). *Chirurg* 66: 870
2. Becker HM, Stelter WJ (1983) Bauchaortenaneurysma. *Fortschr Med* 101: 1568
3. Campbell WB (1991) Mortality statistics for elective aortic aneurysms. *Eur J Vasc Surg* 5: 111
4. Cappeller WA, Ramirez H, Kortmann H (1989) Abdominal aortic aneurysms. *J Cardiovasc Surg* 30: 572
5. Crawford ES, Saleh SA, Babb JW, Glaeser DH, et al (1981) Infrarenal abdominal aortic aneurysm. *Ann Surg* 193: 699
6. Dörrler J, Hoffmann G (1989) Das infrarenale abdominale Aortenaneurysma. *Dtsch Arztebl* 86: 1031
7. Estes JE (1950) Abdominal aortic aneurysm: A study of one hundred and two cases. *Circulation* 11: 258
8. Fielding JWL, Black J, Ashton F, Slaney G, Campbell DJ (1981) Diagnosis and management of 528 abdominal aortic aneurysms. *Br Med J* 283: 355
9. Hagmüller GW, Hold M, Ptakovsky H (1995) Die chirurgische Behandlung des infrarenalen Bauchaortenaneurysmas. *Chirurg* 66: 857
10. Hertzner NR (1980) Fatal myocardial infarction following abdominal aortic aneurysm resection. *Ann Surg* 192: 667
11. Hollier LH, Plate G, O'Brien PC, Kazmier FJ, et al (1984) Late survival after abdominal aortic aneurysm repair: Influence of coronary artery disease. *J Vasc Surg* 1: 290
12. Johnston KW (1994) Ruptured abdominal aortic aneurysm: six-year follow-up results of a multicenter prospective study. *J Vasc Surg* 19: 888
13. Johnston KW, Scobie TK (1988) Multicenter prospective study of nonruptured abdominal aortic aneurysms. I. Population and operative management. *J Vasc Surg* 7: 69
14. Reigel MM, Hollier LH, Kazmier FJ, O'Brien PC, et al (1987) Late survival in abdominal aortic aneurysm patients: the role of selective myocardial revascularization on the basis of clinical symptoms. *J Vasc Surg* 5: 222
15. Roger VL, Ballard DJ, Hallett JW, Osmundson PJ, et al (1989) Influence of coronary artery disease on morbidity and mortality after abdominal aortic aneurysmectomy: a population-based study, 1971–1987. *J Am Coll Cardiol* 14: 1245

702

W. A. Cappeller et al.: Infrarenales BAA – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse

16. Rohrer MJ, Cutler BS, Wheeler HB (1988) Long-term survival and quality of life following ruptured abdominal aortic aneurysm. *Arch Surg* 123: 1213
17. Schweiger H, Eisold-Brand A, Raithel D (1984) Epidemiologie und Diagnostik des abdominellen Aortenaneurysmas. *Münch Med Wochenschr* 126: 915
18. Soreide O, Lillestol J, Christensen O, Grimsgaard C, et al (1982) Abdominal aortic aneurysms: Survival analysis of four hundred thirty-four patients. *Surgery* 91: 188
19. Stonebridge PA, Callam MJ, Bradbury AW, Murie JA, et al (1993) Comparison of long-term survival after successful repair of ruptured and non-ruptured abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg* 80: 585
20. Stühmeier KD, Mainzer B, van Poppelen R, Rossaint R, et al (1987) Bauchortenaneurysma – ist eine konservative Haltung noch gerechtfertigt? *Dtsch Med Wochenschr* 112: 1930
21. Szilagyi DE, Elliott JP, Smith RF (1972) Clinical fate of the patient with asymptomatic abdominal aortic aneurysm and unfit for surgical treatment. *Arch Surg* 104: 600
22. Trede M, Storz LW, Petermann C, Schiele U (1988) Pitfalls and progress in the management of abdominal aortic aneurysms. *World J Surg* 12: 810
23. White GH, Advani SM, Williams RA, Wilson SE (1988) Cardiac risk index as a predictor of long-term survival after repair of abdominal aortic aneurysm. *Am J Surg* 156: 103

Dr. W.-A. Cappeller
Klinik für Allgemeinchirurgie
Klinikum Kröllwitz
Martin-Luther-Universität
D-06097 Halle

7.3. Ein Verfahren zur computergestützten, dreidimensionalen Subtraktionsangiographie mit Hilfe der Spiralröntgencomputertomographie

FREIE THEMEN

Zusammenfassung

Die dreidimensionale, rechnergestützte Visualisierung von kontrastmittelgefüllten Gefäßen kann wesentlich durch die Bildsubtraktion von Spiralcomputertomographiedatensätzen vor und nach Kontrastmittelinjektion verbessert werden, weil dadurch überlagernde und damit störende Knochenstrukturen wie bei der konventionellen 2D-Subtraktionsangiographie eliminiert werden können. Kleine Patientenbewegungen und Atemartefakte verursachen jedoch Lageveränderungen von Organen und Blutgefäßen, die das Subtraktionsergebnis negativ beeinflussen. Ziel ist daher, die Korrektur von Disparitäten zwischen den räumlichen Bildfolgen automatisch mit Computer-vision-Methoden vorzunehmen, um damit eine Verbesserung der dreidimensionalen Rekonstruktion herbeizuführen. Realisiert wurde ein sog. digitales Cepstrumfilterverfahren, das automatisch einen Ausgleich der Verschiebungen entlang der 3 Raumachsen vornimmt bei gleichzeitiger Unempfindlichkeit gegenüber Signalrauschen und Bildstörungen. Entwickelt wurde die Methode am Beispiel von 10 Routine-spiral-CT des Abdomens, die zur Abklärung eines Aortenaneurysmas angefertigt wurden. In allen Fällen konnte eine bessere Zuordnung korrespondierender Bildstrukturen erfolgen und somit das Bildsubtraktionsergebnis verbessert werden. Darauf aufbauend gelang einerseits die Elimination knöcherner Strukturen und andererseits die automatisierte und damit zeitsparende selektive Segmentierung interessierender Gefäßabschnitte mittels Volume-growing-Methoden hinsichtlich der Volumetrie des Aneurysmas sowie die dreidimensionale Darstellung isolierter Blutgefäße.

Schlüsselwörter

3D-Angiographie – Spiral-CT – Bildverarbeitung – Volumetrie – 3D-Visualisierung – Hybrides Rendering

Radiologe (1996) 36: 360–364 © Springer-Verlag 1996

Ein Verfahren zur computer-gestützten, dreidimensionalen Subtraktionsangiographie mit Hilfe der Spiralröntgencomputer-tomographie*

K.-H. Englmeier¹, U. Fink², M. Haubner¹, C. Becker², M. Seemann², W. Capeller³ und M. Reiser²

¹ Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Medizinische Informatik und Systemforschung, Oberschleißheim

² Institut für Radiologische Diagnostik,

Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München

³ Chirurgische Klinik und Poliklinik,

Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München

Mit den technischen Voraussetzungen der Spiralröntgencomputertomographie ist es erstmals möglich, während eines Atemstillstandes die Daten eines gesamten Körperabschnittes zu einer vorgewählten Kontrastmittelpase bei erhöhter 3D-Auflösung zu erfassen [1, 2]. Dabei kann die Spiral-CT so gesteuert werden, daß nach i. v. Bolusinjektion des Kontrastmittels vorwiegend die Arterien eine maximale Kontrastierung aufweisen [3] (s. Abb. 1). Basierend auf den Erfahrungen der MR-Tomographie und unter Verwendung der für die MR-Angiographie speziell entwickelten Maximum-Intensitäts-Projektionsverfahren wurden erste Ergebnisse präsentiert, die die Möglichkeiten der CT-Angiographie unter Verwendung von Spiral-CT-Datensätzen in verschiedenen Organregionen beschreiben: So untersuchten Schwartz et al. sowie Dillon et al. die Möglichkeiten der Spiral-CT-Angiographie im Bereich der Halsgefäße,

Rubin et al. sowie Galanski et al. wiesen auf die Möglichkeiten im Bereich des Abdomens unter besonderer Berücksichtigung der Nierenarterien hin [4–7]. Diese Autoren verwenden zur Darstellung der Arterien verfügbare, volumenbasierte Visualisierungstechniken (z. B. Maximum-Intensitäts-Projektionen, MIP), welche ohne detaillierte, digitale Bildvorverarbeitung eine dreidimensionale Darstellung erzeugen. Aber auch 3D-Oberflächenrekonstruktionen mit interaktiv wählbaren Schwellwerten wurden zur Gefäßdarstellung herangezogen [8].

In der Regel benötigen die eben erwähnten Visualisierungstechniken keine komplexen Bildanalysetechniken wie etwa automatische Bildinterpretation mit nachfolgender Oberflächenbeschreibung mit polygonalen Primitiven: Um jedoch ohne größeren Zeitaufwand des Benutzers bei der 3D-Subtraktionsangiographie einerseits die isolierte 3D-Darstellung von Blutgefäßen und andererseits die Anwendung quantitativer Auswertungsverfahren zu ermöglichen, ist eine automatische digitale Bildverarbeitung erforderlich. Das zu erstellende Bildanalyse- und Visualisierungssystem muß aus folgenden Gründen die Verarbeitungsschritte Interpolation, Translationskorrektur,

* Meinem Chef Herrn Prof. Dr. med. W. van Eimeren zum 60. Geburtstag gewidmet

Dr. K.-H. Englmeier, Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Medizinische Informatik und Systemforschung, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Oberschleißheim

Radiologe (1996) 36: 360–364 © Springer-Verlag 1996

A computer-assisted method for 3D subtraction angiography based on spiral CT

K.-H. Englmeier, U. Fink, M. Haubner, C. Becker, M. Seemann, W. Capeller and M. Reiser

Summary

The objective of this study was to develop a method for 3D subtraction CT angiography and to optimize the visualization after semi-automatic segmentation. Ten patients with aneurysms of the abdominal aorta were examined using spiral CT. To reconstruct the vessels, as well as adjacent organs such as the liver and kidneys, one image data volume was acquired before and after injection of the contrast agent. The CT scans were obtained with a Siemens Somatom Plus 4. To improve the results of

automatic segmentation, as well as visualization by maximum intensity projection (i.e. removal of bony structures), subtraction of both image volumes is necessary. However, small translation shifts disturb the subtraction process and produce artificial contours. To calculate the disparities along the three coordinate axes of two corresponding image volumes, a cepstrum filter is applied to a pair of image volumes. After detection of the disparities, which manifest as bright spots, the real shift of the two subsignals can be calculated. Translation of the corresponding image volume pairs to their correct po-

sitions improves the subtraction process. In all cases the size of the aneurysm and the abdominal organs could be better segmented and visualized. Application of the cepstrum filter and subtraction of the image volumes before and after contrast medium injection completely removes the bony structures in the image data and results in superior visualization results.

Key words

3-D angiography – Spiral CT – Image processing – Volumetry – 3-D visualization

Bildsubtraktion weitgehend automatisierte Bildsegmentierung bis hin zu hybriden Visualisierungstechniken enthalten:

- Bei der Spiral-CT werden keine Datenvolumina mit isotropen Volumenelementen gewonnen. Zur volumenorientierten Visualisierung müssen mittels Interpolationsverfahren Zwischenschichten eingefügt werden, wobei Verfahren einzusetzen sind, die weitgehend artefaktfrei sind (z.B. „extended shape based

method“ [13]). Diese sind insbesondere dann erforderlich, wenn Nativbildsequenz und die Bildfolge nach Kontrastmittelgabe ungleiche Bildabstände besitzen.

- Für die vergleichende Analyse von Nativspiral-CT und Kontrastmittel-CT während der arteriellen und/oder venösen Phase müssen Verfahren zur deckungsgleichen Abbildung beider oder mehrerer Datenbestände zur Verfügung gestellt werden. Die Berücksichtigung feiner Kantenin-

formationen wie etwa beim „chamber-matching“ [9, 10] darf hier nicht erfolgen, da die Bildbestände ständigen Variationen durch das Einfließen des Kontrastmittels unterliegen. Hier sind möglichst robuste Verfahren einzusetzen, die sich auf den Vergleich großer Bildstrukturen stützen.

- In der Praxis wird für die dreidimensionale Darstellung selten eine weitgehend automatisierte Bildanalysemethode herangezogen. So sind häufig für die 3D-Visualisierung (z.B. „shaded surface display“) interaktive, z.T. zeitraubende Editierverfahren erforderlich. Die Ergebnisse von MIP-Rekonstruktionen sind nur

Abb.1. Multiplanare Reformatierung eines Spiral-CT mit Darstellung eines Aneurysmas der Aorta nach Kontrastmittelgabe



FREIE THEMEN

bei hohen Dichtesprüngen zufriedenstellend, etwa bei Grenzflächen zu Knochen und optimal mit Kontrastmittel gefüllten Blutgefäßen. Um bei der Gefäßdarstellung eine oft unerwünschte Knochenabbildung aufgrund des gleichen Grauwertbereiches zu unterdrücken, ist es daher erforderlich, in einem Vorverarbeitungsschritt eine Bildsubtraktion sowie eine selektive, weitgehend automatisierte Bildsegmentierung durchzuführen (s. Abb.4).

Ziel war es daher, ein neues Bildanalyse- und Visualisierungssystem zu entwickeln, mit dem die automatisierte Korrektur der Translationen zwischen den räumlichen Bildfolgen und die dreidimensionale Subtraktionsangiographie gelingt. Die mit dem System verfügbaren, zusätzlichen Bildinformationen sollen in der prätherapeutischen Diagnostik von Gefäßveränderungen Anwendung finden. Ohne invasive Angiographie soll damit eine optimale Darstellung des Gefäßsystems erreicht werden.

Material und Methode

Bilderfassung

Die Untersuchungen wurden an einem Somatom Plus 4 (Firma Siemens, Erlangen) durchgeführt. Dabei wurde eine Umlaufzeit/360° von 0,75 s gewählt. Der Tischvoranschub betrug 3 mm bei 3 mm Schichtdicke und rekonstruierten Schichten von 1 mm. Die Größe der Bildmatrix beträgt 512² Bildpunkte.

Alle Untersuchungen wurden mit einer Röhrenspannung von 120 kV durchgeführt, der Röhrenstrom lag bei 233 bzw. 292 mA. Prinzipiell wurde eine Nativuntersuchung angefertigt und dann mit gleichem Parametern die Bilderfassung nach intravenöser Kontrastmittelgabe durchgeführt. Bei allen Untersuchungen wurden 100 ml Kontrastmittel mit einem Jodgehalt von 300 mg/ml verwendet. Das Kontrastmittel wurde mit einer Kontrastmittelpumpe (Firma Med-Rad) mit einem Flow von 4,5 ml/s und einem Delay von 14 s injiziert.

Digitale Bildanalyse

Nach Erfassung der räumlichen Bildsequenzen vor und nach Kontrastmittelgabe liegen die Daten in einer Form vor, die die weitere digitale Verarbeitung der Spiral-CT-Aufnahmen negativ beeinflussen kann.

Dazu gehören im wesentlichen Störungen die durch Bildrauschen, Atmung und kleine Patientenbewegungen verursacht werden.

Das heißt, vor der Verarbeitung der Spiral-CT zu einer dreidimensionalen Subtraktionsangiographie mit digitalen Bildanalysemethoden müssen die genannten Bildstörungen eliminiert werden. Dazu mußte ein Verfahren realisiert werden, das einerseits unempfindlich gegenüber dem Signalrauschen ist und andererseits bei der Korrektur von Translationen nur große, sich wenig verändernde Bildstrukturen berücksichtigt. Eine Störung der automatisierten Translationskorrektur durch das Einfließen des Kontrastmittels und der damit verbundenen Abbildung neuer Bildstrukturen muß minimiert werden.

Eine Methode für den Ausgleich solcher Translationen, die einerseits robust gegenüber Bildstörungen und Signalrauschen ist und andererseits schnell und automatisch durchgeführt werden kann, ist der sogenannte Cepstrumfilter. Cepstrum (ein Anagramm des Wortes Spektrum) bezeichnet eine Filtermethode, die erfolgreich im Bereich der Verarbeitung seismologischer Signale oder zur Schätzung der lokalen stereoskopischen Tiefe eingesetzt wird [11, 12]. Cepstrum ist definiert als das Powerspektrum des logarithmierten Powerspektrums:

$$C\{f(x, y, z)\} = \|\text{FFT}\{\log(\text{FFT}\{f(x, y, z)\})\|^2\}$$

mit: $f(x, y, z)$ = dreidimensionale Bildfunktion im Ortsraum, $C\{f(x, y, z)\}$ = Cepstrum von $f(x, y, z)$, $\text{FFT}\{f(x, y, z)\}$ = Fast-Fourier-Transformation von $f(x, y, z)$.

Für die Berechnung des Cepstrums geht man so vor: zunächst wird aus der nativen Bildsequenz und der Bildfolge nach Kontrastmittelinjektion ein Teilbereich geringerer Größe gewählt (z.B. mit einer Größe von $64 \times 64 \times 32$ Volumenelementen). Diese Teilbereiche werden zu einem Volumenmodell verarbeitet und schließlich mit der dreidimensionalen, digitalen Fourier-Transformation in den Frequenzbereich übertragen. Die Berechnung des logarithmierten Powerspektrums sowie die weitere Verarbeitung mit der Fourier-Transformation führt schließlich zum Cepstrum der dreidimensionalen Bildfunktion (s. Abb.2).

Eine künstlich eingeführte Translation D_x, D_y, D_z verschiebt das Maximum der Translationen aus dem Zentrum und gestattet somit die vereinfachte Maximumdetektion der Verschiebung im 3D-Cepstrumraum auch bei kleinen Disparitäten zwischen den CT-Bildsequenzen. Durch die Detektion der Translation dx, dy, dz kann schließlich die Korrektur der Subsignale im Ortsraum vorgenommen werden. Daraus resultiert dann ein verbessertes Ergebnis bei bildarithmetischen Operationen, da nur korre-

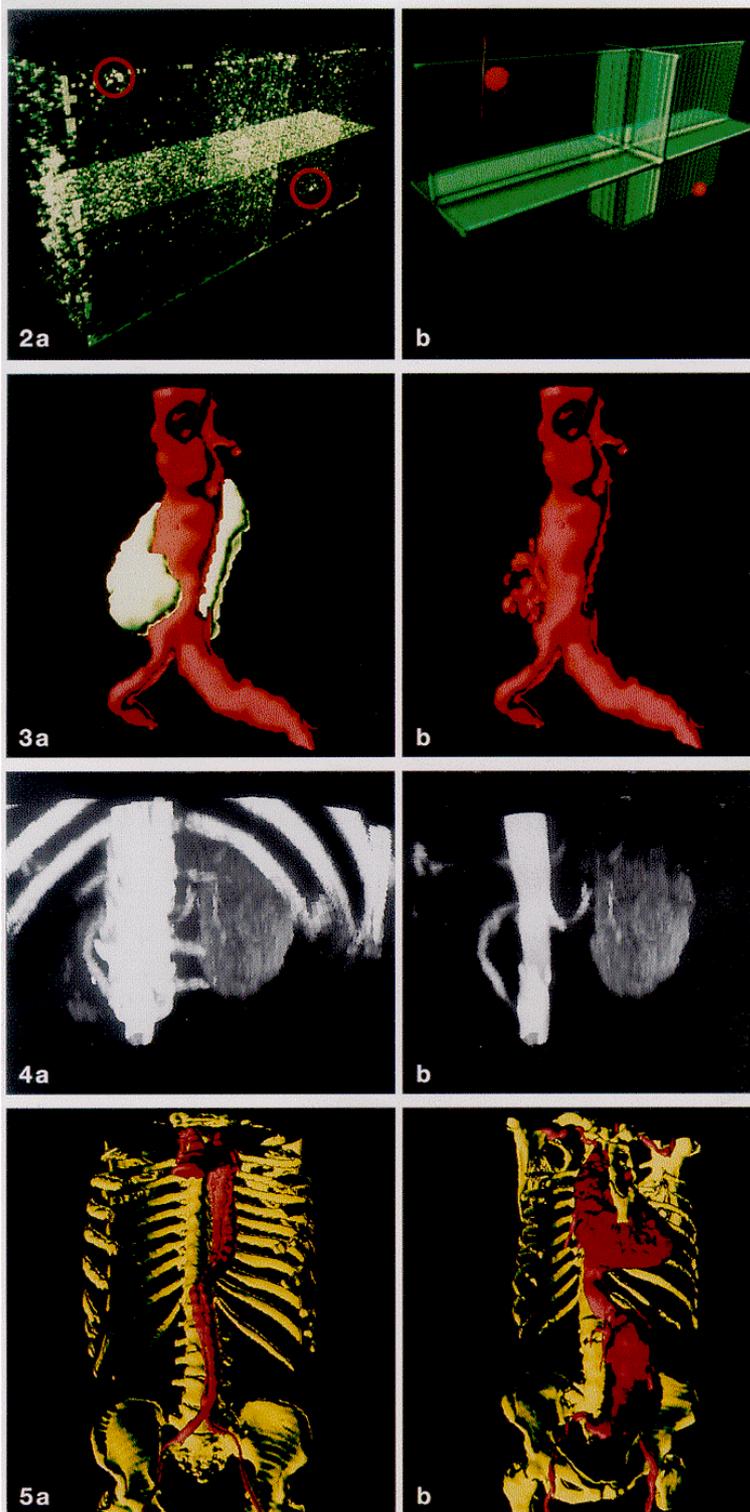
spondierende Bildstrukturen voneinander subtrahiert werden. Die Cepstrumfilterung ist somit ein Verfahren, das aus dem Bereich der automatischen Erkennung periodischer Phänomene stammt, die durch Rauschen und andere Störungen überlagert werden.

Im hier vorgestellten Bereich der dreidimensionalen Subtraktionsangiographie eignet sie sich zur Beseitigung von Translationen zwischen den Spiral-CT-Bildsequenzen vor und nach Kontrastmittelgabe, die durch leichte Patientenbewegungen oder Atemverschiebung entstehen können. Die Methode der Cepstrumfilterung hat dabei folgende Eigenschaften: Sie ist einerseits eine schnelle Verarbeitungsmethode, da die dreidimensionale Fourier-Transformation nicht auf die gesamten Bilddaten angewandt werden muß, sondern lediglich auf kleine Ausschnitte. Andererseits reagiert die Methode unempfindlich gegenüber Rauschen und anderen Bildstörungen. Ein weiterer Vorteil ist, daß die Disparität zwischen den beiden Bildsubsignalen der Spiral-CT durch eine einfache Maximumdetektion in der Cepstrumebene automatisch bestimmt werden kann.

Ergebnisse

Die Erfassung von Spiral-CT vor und nach Kontrastmittelinjektion, die Anwendung des Cepstrumfilters zur Korrektur von Verschiebungen und die Verwendung hybrider „Renderring“-techniken [13] stellt ein nichtinvasives Verfahren zur dreidimensionalen Subtraktionsangiographie bereit. Die computergestützte Bildanalyse und -synthese ermöglicht hier eine Steigerung der Wertigkeit der Spiral-CT, da zusätzliche Informationen über die 3D-Geometrie von Gefäßen gewonnen werden können (s. Abb.3).

Getestet wurden die Methoden an 10 Spiral-CT-Datensätzen vor und nach Kontrastmittelinjektion, die zur Darstellung von Aortenaneurysmen angefertigt wurden. Dazu wurden die transversalen Schichtbilder, die nach Rekonstruktion im ACR-Nema Standard Bildformat zur Verfügung standen, an einen Graphik Arbeitsplatzrechner INDIGO R4000 (Silicon Graphics) übertragen. Eine Schichtbildinterpolation nach dem Extended-shape-based-Prinzip [13] erzeugt anschließend aus der räumlichen Bildsequenz ein Bilddatenvolumen. Zur Reduktion der Berechnungszeit wird der für die Cepstrum-



filterung notwendige Volumenausschnitt in einer Größe von $64 \times 64 \times 32$ Bildpunkten im Zentrum des Volumens gewählt. Um im Abdominalbereich das Verfahren robust gegen Darmbewegungen zu halten, wird der Ausschnitt um die Wirbelsäule konstruiert. Die Lage des Volumenausschnitts wird dabei automatisch nach der Bright-spot-detection-Methode in Bildpyramiden durchgeführt, so daß eine konstante Lage des Bildausschnittes vor der Wirbelsäule gewährleistet ist. Die Cepstrumfilterung mit Translationskorrektur ermöglicht schließlich die digitale, dreidimensionale Subtraktionsangiographie, nachdem evtl. vorhandene Verschiebungen korrigiert wurden.

Eine selektive Segmentierungsstrategie nach dem Volumenwachstumsverfahren und die kombinierte

←
Abb. 2a, b. Berechnung des Cepstrumfilters aus den Spiral-CT-Datensätzen vor und nach Kontrastmittelgabe im dreidimensionalen Raum: in **a** ist das Original-Cepstrum abgebildet mit den in *rot* markierten maximalen Peaks, in **b** sind diese Peaks nach automatischer Detektion lokalisiert, so daß zum Zentrum des Cepstrumraumes die Translationen entlang der 3 Raumachsen berechnet werden können

Abb. 3. **a** Dreidimensionale Darstellung der Aorta mit einem Aneurysma (*weiß*) nach automatischer Segmentierung und Oberflächenkonstruktion. In **b** ist das freie Lumen der Aorta selektiv dargestellt

Abb. 4a, b. Verbesserung von MIP-Rekonstruktionen nach automatischer 3D-Subtraktionsangiographie; **a** die störende Überlagerung der Blutgefäße durch die Wirbelsäule, **b** die isolierte Darstellung nach automatischer Translationskorrektur und Subtraktion der Bildbestände vor und nach Kontrastmittelgabe bei deutlicher Verbesserung der Abbildungsqualität

Abb. 5a, b. Dreidimensionale Darstellung der Aorta nach Subtraktion der Bildbestände vor und nach Kontrastmittelgabe sowie teilautomatisierter Bildinterpretation: in **a** ist das Beispiel für eine Dissektion der Aorta, in **b** ein großes Aneurysma der Aorta abgebildet. Zur Erfassung dieser langen Gefäßabschnitte mit großer Scanlänge wurden die Aufnahmeparameter folgendermaßen geändert: Schichtdicke 8 mm, Tischvorschub 8 mm, bei rekonstruierten Schichten von 4 mm

FREIE THEMEN

Darstellung von Grauwertvolumen und Oberflächenmodellen unterstützen dann sowohl die Volumetrie mit Verfahren der numerischen Integration als auch die Befundung der CT-Bilder (s. Abb.3).

Diskussion

Die dreidimensionale Bildanalyse und -synthese von Spiral-CT-Datensätzen (s. Abb.5) gestattet die Gewinnung zusätzlicher Informationen im Sinne von objektivierten und quantitativen Kenngrößen: So konnte im vorliegenden Datenmaterial eine Volumetrie des freien Lumens und des Thrombus der Aortenaneurysmen durchgeführt werden, weil hier – im Gegensatz zur konventionellen Subtraktionsangiographie – nach selektiver Segmentierung die Volumetrie mittels numerischer Integration, aber auch die räumliche Darstellung der anatomischen Strukturen gelingt. Notwendig ist dazu bei der 3D-Angiographie mit Spiral-CT die Subtraktion korrespondierender Bildstrukturen. Zum Ausgleich von Patientenbewegungen wurde eine automatische Translationskorrektur mit Hilfe der Cepstrumfilterung realisiert, so daß bei allen 10 Patienten eine Verbesserung des Ergebnisses der Bildsubtraktion erreicht wurde. Als besonders vorteilhaft erwies sich die vollständige Automatisierung der Translationskorrektur, da eine interaktive Vorgehensweise analog zum Pixelshift bei der digitalen Subtraktionsangiographie aufgrund der großen Datenmenge nicht realisierbar ist. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist seine Robustheit gegenüber Störungen – so beeinflußt die Kontrastmittelfüllung der Blutgefäße

nicht das Filterergebnis, wie es etwa beim „chamfer-matching“ der Fall wäre – aber auch die relativ kurze Rechenzeit, weil zur Bestimmung der Translationen nur Volumenausschnitte geringerer Größe verwendet werden.

Als nachteilhaft zeigte sich die Beschränkung auf die Korrektur von Translationen. Drehungen und Verzerrungen können mit den verfügbaren Programmen noch nicht ausgeglichen werden. Dieser Nachteil wirkte sich insbesondere bei neuen Anwendungen aus, wie etwa der CT-Angiographie der intrakraniellen Gefäße, wo leichte Neigungen zu verfälschten Ergebnissen bei der Subtraktion führen. Hier muß die Methode hinsichtlich einer lokalen und nicht global wirksamen Korrektur von Disparitäten erweitert werden. Eine zusätzliche Möglichkeit ergibt sich durch die Berücksichtigung der Lage anatomischer Marker mit anschließender geometrischer Entzerrung [14, 15].

Literatur

1. Kalender WA, Polacin A (1992) 3D Spatial and contrast resolution in conventional and spiral. *Radiology* 185 (P): 127
2. Kalender WA, Wedding K, Polacin A, Prokop M, Schaefer-Prokop C, Galanski M (1994) Grundlagen der Gefäßdarstellung mit der Spiral-CT. *Aktuel Radiol* 4: 287–297
3. Balm R, Eikelboom BC, van Leuwen MS, Noordzij J (1994) Spiral CT-angiography of the aorta. *Eur J Vasc Surg* 8: 544–551
4. Dillon EH, van Leuwen MS, Fernandez MA, Eikelboom BC, Mali WPTM (1993) CT-Angiography: application to the evaluation of carotid artery stenosis. *Radiology* 189: 211–219
5. Galanski M, Prokop M, Chavan A, Schaefer CM, Jandeleit K, Nischelsky JE (1993) Renal arterial stenoses: spiral CT angiography. *Radiology* 189: 185–192
6. Rubin GD, Walker PJ, Dake MD, Napel S, Jeffrey RB, McDonnell CH, Mitchell RS, Miller DC (1993) Threedimensional spiral computed tomographic angiography: an alternative imaging modality for the abdominal aorta and its branches. *J Vasc Surg* 18: 656–665
7. Schwartz RB, Jones KM, Chernoff DM (1992) Common carotid artery bifurcation: evaluation with spiral-CT – work in progress. *Radiology* 185: 513–519
8. Prokop M, Schaefer C, Kalender WA, Placin A, Galanski M (1993) Gefäßdarstellungen mit Spiral-CT. *Radiologe* 33: 694–704
9. Borgfors G (1988) Hierarchical chamfer matching. *IEEE Trans Patt Anal Mach Intell* 10: 849–865
10. Van Herk M, Kooy HM (1994) Automatic three-dimensional correlation of CT-CT, CT-MRI, and CT-SPECT using chamfer matching. *Med Phys* 21: 1163–1178
11. Jain AK (1989) *Fundamentals of digital image processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs
12. Yeshorun Y, Schwartz EL (1989) Cepstral filtering on a columnar image architecture: fast algorithm for binocular stereo segmentation. *IEEE Trans Patt Anal Mach Intell* 11: 759–767
13. Englmeier K-H, Haubner M, Förterer HM, Perzl W, Fink BK, Fink U (1994) A method for combining fast surface and exact volume visualization techniques in medicine. *Proc Med Imaging 1994, SPIE Proceedings Series*, Bellingham, pp 22–33
14. Schad L, Boesecke R, Schlegel W, Hartmann G, Sturm V, Straub L, Lorenz W (1987) Three dimensional correlation of CT, MR and PET studies in radiotherapy treatment planning of brain tumors. *J Comput Assist Tomogr* 11: 948–954
15. Holupka EJ, Kooy M (1992) A geometrical algorithm for medical image correlations. *Med Phys* 19: 433–438

Eingegangen am 8. November 1995
Angenommen am 5. März 1996

7.4. Langzeitergebnisse und Kosten der elektiven Ausschaltungsoperation des infrarenalen Aortenaneurysmas

Zentralbl Chir 122 (1997) 747–751

Zentralblatt für Chirurgie

© 1997 Johann Ambrosius Barth

Langzeitergebnisse und Kosten der elektiven Ausschaltungsoperation des infrarenalen Aortenaneurysmas

W.-A. Cappeller¹, M. Hinz², O. Thomusch¹, L. Lauterjung²

¹Klinik für Allgemeinchirurgie (Direktor: Prof. Dr. H. Dralle), Martin-Luther-Universität Halle und

²Chirurgische Klinik und Poliklinik (Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. F. W. Schildberg), Klinikum Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität München

Schlüsselwörter: Infrarenales Aortenaneurysma – Langzeitverlauf – Letalität – kumulierte Überlebensrate – Kostenanalyse

Zusammenfassung: Während des 10-Jahres-Zeitraums 1978 bis 1987 wurden n = 545 Patienten wegen eines infrarenalen Aortenaneurysmas operiert. Die Hospitalletalität betrug 6,4 %. Informationen über Status und Todesursache wurden bei 95,6 % der Patienten erreicht. Das kumulative Überleben

betrug nach 5 Jahren 64,6 % und nach 10 Jahren 41,0 %, die mittlere Überlebenszeit 95,1 Monate. Präoperativ bestehende Risikofaktoren wie Alter, koronare Herzkrankheit und Hypertonus beeinflussten das Langzeitüberleben negativ. Die Kostenkalkulation erfolgte auf der Basis des Gesundheitsstrukturgesetzes. Die Operationskosten lagen knapp unter dem Sonderentgelt. Die durchschnittliche stationäre Therapiedauer von 16,4 Tagen multipliziert mit dem Basis- und Abteilungspreissetz ergab die Pflegekosten.

Abdominal aortic aneurysm – costs and long-term-results after operative repair

Key words: Abdominal aortic aneurysm – long-term-results – mortality – cumulative survival – cost analysis

Summary: During a 10-years-period from 1978 to 1987 n = 545 patients were operated upon for infrarenal aortic aneurysm. Hospital mortality was 6,4 %. In 95,6 % of the patients informations concerning state and cause of death were

achieved. Cumulative survival was 64,6 % at 5 years and 41,0 % at 10 years, the mean survival being 95,1 months. Preoperative risk factors like age, coronary artery disease and hypertension had a negative impact on the long-term-results. The costs were calculated according to the „Gesundheitsstrukturgesetz“ and on the mean in-hospital-stay of 16,4 days.

1951 gelang Dubost die erste Ausschaltungsoperation eines infrarenalen Bauchaortenaneurysmas (BAA) mit einem homologen Gefäßersatz [6]. Kunststoffprothesen fanden seit 1954 Einzug in die Aorten Chirurgie. Während der folgenden Jahre wurden die Operation und die perioperativen Maßnahmen standardisiert, Voraussetzung für die wesentlichen Verbesserungen der Resultate [15]. Genau 40 Jahre später, 1991, gelang Parodi die innere Schienung eines infrarenalen Aortenaneurysmas mittels endovaskulärem Stent [11]. Aufgrund der wesentlich geringeren Auswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem bei diesen Hochrisikopatienten verspricht der Stent bei gut selektionierten Aneurysmen die bessere Alternative zu werden. Jedoch sind derzeit noch keine Langzeitergebnisse verfügbar [1].

In einer Zeit zunehmender Knappheit monetärer Ressourcen werden auch medizinische Behandlungen, insbesondere chirurgische Maßnahmen mit der erforderlichen

prä- und postoperativen Diagnostik, Kostenanalysen unterworfen. Diese sind für die Ausschaltungsoperation mit Prothesenersatz leicht durchführbar. Die Vielzahl der verfügbaren und entworfenen Stents bedürfen jedoch eines regelmäßigen Einsatzes, damit verlässliche Kalkulationen erarbeitet werden können.

Als Voraussetzung für den zukünftigen Vergleich der beiden invasiven Therapieprinzipien sollen hier anhand eines großen Patientengutes die Langzeitergebnisse und Kostensituation der Ausschaltungsoperation mit Prothesenersatz analysiert werden.

Patienten und Methoden

Die Untersuchungen stützen sich auf n = 545 asymptomatische Patienten, die während eines 10-Jahres-Zeitraums zwischen 1.1.1978 und 31.12.1987 im Klinikum Großha-

dem der LMU München wegen eines atherosklerotischen infrarenalen BAA elektiv operiert wurden. Die Indikation zur Operation wurde bei einem Aneurysmadurchmesser von mindestens 4,5 cm gestellt. Dieser Aneurysmadurchmesser und die Ausdehnung des Aneurysmas nach kranial und kaudal wurden routinemäßig computertomographisch bestimmt. Eine zusätzliche angiographische Untersuchung erfolgte nur bei spezieller Fragestellung, nämlich bei klinischem oder computertomographischem Verdacht auf Stenosen, Verschlüsse oder weitere Aneurysmen im Bereich der Nieren-, Becken- und peripheren Arterien. Intraoperativ wurde transperitoneal in „Graft-Inclusion-Technik“ die Prothese anastomosiert, das Aneurysma somit ausgeschaltet und der Aneurysmasack um die Prothese verschlossen. Die Arteria mesenterica inferior wurde nur bei Verschluss beider Arteriae iliacaе internae reimplantiert.

Retrospektiv wurden aus den Krankenakten der Geburtstag, der Tag der Operation sowie der Todestag der im Krankenhaus Verstorbenen ($n = 35$, 6,4%) und die präoperativ bekannten Risikofaktoren, koronare Herzkrankheit (KHK) und Hypertonus, erfaßt. Die Dauer der Operation von Hautschnitt bis Hautnaht wurde aus dem Anästhesieprotokoll entnommen. Nach einem postoperativen Intervall von mindestens 5 bis mehr als 12 Jahren wurden die Patienten oder Angehörigen erneut telefonisch kontaktiert. Gegebenenfalls wurden der Hausarzt oder das zuletzt behandelnde Krankenhaus eingeschaltet. So erhielten wir das Kontroll- oder das Todesdatum bei 95,6% der Patienten (521/545), Voraussetzung zur Kalkulation der Überlebenskurven. Die Todesursache konnte in 88,4% der Patienten (237/268) geklärt werden.

Mit Hilfe des Softwareprogramms SPSS (Version 6.0.1, SPSS Inc, Chicago, Ill, USA) berechneten wir das kumulative Überleben nach Kaplan-Meier und die mittlere Überlebenszeit für verschiedene Untergruppen. Die Überprüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den Überlebenskurven erfolgte mittels „log-rank-Test“. Eine Wahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurde als statistisch signifikant betrachtet.

Die Kostenanalyse stützt sich auf eine Kalkulation an der Klinik für Allgemeinchirurgie der Universität Halle aus dem Jahr 1995. Die Kosten pro Operationsminute wurden unter Berücksichtigung der Jahres-Operationszeit und Kosten der Abteilung berechnet. Die Kosten für eine Dienstleistungsminute des chirurgischen Funktionsdienstes (DM 1,54) wurden unter der Annahme ermittelt, daß die Wertschöpfung ausschließlich während der Operations- und der Rüstzeit (39,4%) geleistet wird (Tab. 1). Die Kosten pro Operationsminute des ärztlichen Personals (DM 1,27) waren geringer, da eine Wertschöpfung nicht nur während der Arbeitszeit im Operationssaal (31,7%) erfolgt. Da eine kliniksinterne Kostenanalyse für die Anästhesie bisher nicht durchgeführt wurde, wurden zur Ermittlung der Gesamtkosten die durchschnittlichen Anästhesiekosten sowie die Sachkosten der Schriftenreihe des Bundesministeriums für Gesundheit entnommen [2]. Aus den Kosten der Operationsminute und der durchschnittlichen Operationszeit bei Rohrinterponat (145 ± 41 min) oder Bifurkationsprothese (190 ± 50 min) wurden die Personalkosten errechnet und

Tab. 1 Berechnung der Personalkosten

– (Op-Zeit (min) + Rüstzeit (min)) × Mitarbeiter (n) × Arbeitspreis (DM/min) = Personalkosten (DM)
– Beispiel Elektiv-Op Rohr: (145 min + 23 min) × 4 Kollegen × 1,27 DM/min = 853,44 DM

diese zusammen mit den Sachkosten dem Sonderentgelt gegenübergestellt (Tab. 4). Der Tagessatz, der Abteilungspflegesatz und Basispflegesatz beinhaltet, wurde mit dem Faktor 0,8 für Sonderentgeltvergütung und der stationären Behandlungsdauer multipliziert und entspricht derzeit den stationären Behandlungskosten (Pflegekosten).

Ergebnisse

Perioperative Daten

Von den $n = 545$ Patienten waren 89% Männer und 11% Frauen mit einem mittleren Alter von $66,7 \pm 8,2$ Jahren. Präoperativ bestanden wesentliche Risikofaktoren. 55,3% der Patienten litten an einer KHK. 23 dieser Patienten hatten 3 Monate bis 6 Jahre vor dem Aorteneingriff einen Koronarbypass erhalten. Ein bereits therapierter arterieller Hochdruck lag in 53,6% der Patienten vor.

Rohrprothesen wurden bei $n = 314$ (57,6%) und Bifurkationsprothesen bei $n = 231$ Patienten (42,4%) mit arteriellem Verschußleiden der Beckenstrombahn oder Ausdehnung des Aneurysmas nach iliakal implantiert. Die erfolgreich operierten Patienten wurden durchschnittlich $4,2 \pm 5,4$ Tage intensivmedizinisch betreut. Sie blieben $12,8 \pm 7,6$ Tage stationär in der Chirurgie und wurden anschließend entlassen oder weiterverlegt.

Von 545 operierten Patienten verstarben in der Klinik vor Entlassung (Hospitalletalität) $n = 35$ (6,4%). Die 30-Tage-Letalität hingegen betrug $n = 27$ (4,9%). Die Patienten verstarben an Schockfolgen und Multiorganversagen (43%), an kardio-pulmonalen Ursachen (37%), an Sepsis (11%) sowie zerebralen und anderen Ursachen (9%). Der Krankenhausaufenthalt der Verstorbenen betrug $22,3 \pm 25,6$ Tage.

Langzeitverlauf

Der Kontrollzeitraum betrug mindestens 5 Jahre. Die mittlere Nachuntersuchungszeit aller Lebenden belief sich auf $98,1 \pm 1,4$ Monate. Ohne Hospitalletalität waren die kumulierten Überlebensraten nach 5 Jahren 64,6% und nach 10 Jahren 41% (Abb. 1). Das 66jährige, alters-entsprechende, männliche Normalkollektiv ohne BAA zeigte eine signifikant bessere kumulierte Überlebensrate ($p < 0,01$; Abb. 1). Der Risikofaktor „Alter“ beeinflusst das kumulative Überleben deutlich. Die Altersgruppen „ ≤ 60 , $60 < 70$ und > 70 Jahre“ weisen signifikante Unterschiede im Langzeitverlauf auf (je $p < 0,001$) (Abb. 2). Die mittlere Überlebenszeit beträgt respektive $118 \pm 6,3$, $97 \pm 4,2$ und $76 \pm 4,2$ Monate. Die vor Elektiveingriff dokumentierte KHK bei

W. Cappeller u. a., BAA-Langzeitergebnisse und Kosten

749

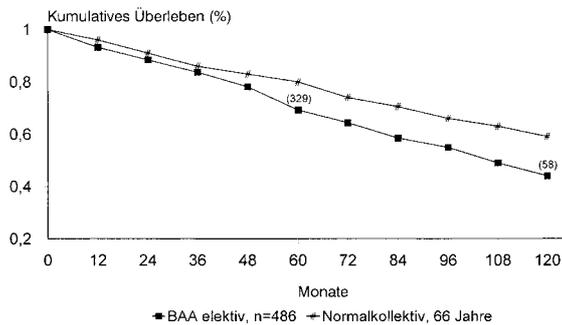


Abb. 1 Kumulatives Überleben im 10-Jahres-Verlauf, ohne Hospitalletalität, im Vergleich mit einem Normalkollektiv 66jähriger Männer ohne Aneurysma [9]

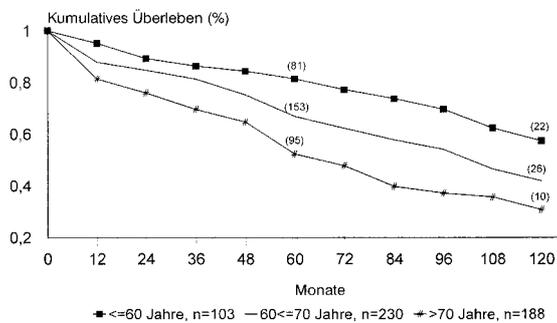


Abb. 2 Kumulatives Überleben nach Altersgruppen, Hospitalletalität eingeschlossen ($p < 0,01$)

55,3% der Patienten beeinflusst die Überlebensrate und die mittlere Lebenserwartung negativ. Die Ergebnisse bei Patienten mit KHK sind signifikant schlechter ($p < 0,02$). Der Hypertonus zeigte ebenfalls einen negativen, signifikanten Einfluß auf die Langzeitergebnisse nach elektiver Operation ($p < 0,02$).

Als Ursachen der Spätletalität standen mit knapp 50% kardiale Ursachen im Vordergrund (Tab. 2). Fast 13% der Patienten verstarben an Malignomen, der zweithäufigsten Todesursache. Dabei dominierten das Bronchial- und das gastro-intestinale Karzinom. Nur 5 Patienten verstarben an vaskulären Komplikationen wie thorakales Aneurysma oder Anastomosenaneurysma.

Kosten

Entsprechend der Kalkulationsgrundlage (Tab. 3) wurden die Personalkosten der Chirurgen auf DM 854,- bis DM 1082,- errechnet. Dabei wurden jeweils 4 Operateure berücksichtigt. Die Kosten des Funktionsdienstes – jeweils 2 Mitarbeiter – ergaben DM 631,- für Rohrprothesen und DM 770,- für Bifurkationsprothesen. Die Personalkosten der Anästhesiologie beliefen sich auf etwa DM 1000,- und die Sachkosten auf etwa DM 3000,-, etwa 50% der gesamten Operationskosten. Somit ergaben sich für eine Bifurka-

tionsprothese DM 600,- höhere Kosten als für eine Rohrprothese. Den Operationskosten in Höhe von DM 5476,- stand ein Sonderentgeld von DM 5897,- im Falle einer Rohrprothese gegenüber (Tab. 4).

Die Pflegekosten, denen bisher die Kalkulationsgrundlage fehlte, werden auf der Einnahmenseite aus dem Tagessatz (DM 607,-, entspricht dem Abteilungs- und Basispflegesatz) multipliziert mit der Anzahl der Behandlungstage und dem Faktor 0,8 für Sonderentgeldabrechnungen ermittelt. Im Durchschnitt mußten die Patienten 3 Tage vor und 13,4 Tage nach elektiver Operation stationär in der Klinik behandelt werden, 12,8 Tage die erfolgreich Operierten und 22,3 Tage die Verstorbenen. Somit beläuft sich die Summe von Operations- und Pflegekosten auf knapp DM 13900,- (Tab. 4).

Tab. 2 Spätletalität und ihre Ursachen

Ursache	Spätletalität (n)	Spätletalität (%)
Kardial	114	48,9
Malignom	30	12,9
Zerebral	20	8,6
Pulmonal	13	5,6
Gastrointestinal	4	1,7
Vaskulär	5	2,1
Andere	47	20,2
Gesamt	233	100

Tab. 3 Operationskosten (DM), 1995

	Rohr	Bifurkation
<i>Chirurgie</i>		
Ärzte (n = 4)	854	1082
Funktionsdienst (n = 2)	631	770
<i>Anästhesie</i>		
Ärzte	646	666
Funktionsdienst	347	381
<i>Sachkosten</i>		
gesamt (DM)	5476	6047

Tab. 4 Analyse der Gesamtkosten

Ausgaben	DM	Einnahmen	DM
OP-Kosten	5476	Sonderentgeld	5897
Pflegekosten	?	Tagessatz × 16,4 (Abteilung + Basis)	7964
gesamt	?	gesamt	13861

(? = derzeit noch nicht berechenbar)

750

Zentralbl Chir 122 (1997) 9

Diskussion

Perioperative Letalität

Perioperative Letalität kann einerseits 30-Tage-Letalität, andererseits Hospitalletalität bedeuten [3, 7]. Die letztere ist immer höher als die 30-Tage-Letalität. Nach elektiver Ausschaltungsoperation eines BAA liegt die 30-Tage-Letalität bei 3–4% und die Hospitalletalität über 6% [5, 8, 12, 13, 16–19]. Der Grund für diese Unterschiede ist die optimierte Intensivmedizin, die bei vielen septischen und Schock-Patienten lebensverlängernd wirkt, aber dennoch häufig ein tödlich endendes multiples Organversagen nicht vermeiden kann. Diese Patienten versterben nicht selten jenseits der 30-Tage-Grenze und tragen zu einem Drittel der perioperativ Verstorbenen bei. Der Myokardinfarkt ist die häufigste Ursache der perioperativ kardial verstorbenen Patienten.

Langzeitverlauf

Der Langzeitverlauf nach Operation wird von der perioperativen Letalität beeinflusst. Daher sind die Kaplan-Meier-Kurven linear um die perioperative Letalität reduziert.

Unter Einschluß der Hospitalletalität wird heute allgemein von einer kumulierten 5-Jahres/10-Jahres Überlebensrate von 60–75% respektive 40% nach elektiver Operation berichtet [5, 8, 12, 14, 16, 17, 19]. Diese Ergebnisse sind signifikant schlechter als die berechnete Rate einer normalen altersentsprechenden Population von Hertzler [9]. Offensichtlich ist bei den operierten Patienten die systemische Atherosklerose häufiger oder klinisch relevanter als in der altersentsprechenden Gruppe ohne BAA.

Alter, KHK und Hypertonus sind wohl bekannte Risikofaktoren, die signifikant den Langzeitverlauf beeinflussen. Altersgruppen „60–70 Jahre“ und „>70 Jahre“ beeinflussen deutlich die Überlebensraten (Tab. 2) [9].

Die KHK ist mit Abstand der wesentlichste perioperative Risikofaktor. Vor Elektiveingriff wurde die KHK bei 55% unserer Patienten kardiologischerseits diagnostiziert. Trotz kardiologischer präoperativer Therapie, konservativ oder in wenigen Fällen auch operativ, findet sich eine signifikant bessere Überlebensrate bei Patienten ohne KHK im Vergleich zu Koronarkranken ($p < 0,02$) [9, 12].

Die häufigste Todesursache bleibt unumstritten mit ca. 45% ein kardiales Versagen infolge KHK. Auch die weiteren Ursachen der Spätletalität zeigen eine uniforme Verteilung auf (Tab. 2) [4, 8, 9]. An zweiter Stelle rangieren mit knapp 15% Malignome verschiedener Ausgangslokalisationen. Vaskuläre Komplikationen mit Todesfolge ohne direkten Bezug zur Primäroperation wie z. B. ein rupturierter thorakales Aortenaneurysma nehmen hier 3% ein.

Kostenanalyse

Vor der Einführung des Gesundheitsstrukturgesetzes (GSG) 1993 war die „Duale Finanzierung“ Basis der Krankenhausfinanzierung. Die Investitionskosten der Krankenhäuser wurden von den Bundesländern getragen und die Be-

triebskosten von den Krankenversicherungen. Somit drückte der Tagespflegesatz, der zwischen Krankenhäusern und Kostenträgern ausgehandelt wurde, nicht die tatsächlichen Kosten aus. Basierend auf einem Tagespflegesatz von DM 561,- 1995 im Klinikum Großhadern, München, beliefen sich die Kosten für eine durchschnittlich 16,4 Tage dauernde Behandlung eines BAA auf DM 9200,- [4].

Im Rahmen des GSG wurde 1995/96 eine leistungsbezogene Vergütungsstruktur mit Fallpauschalen, Sonderentgelten, Abteilungs- und Basispflegesätzen eingeführt. Operationen von BAA werden auf der Basis von Sonderentgelten abgerechnet. Zusammen mit dem Abteilungs- und Basispflegesatz für die entsprechende stationäre Aufenthaltsdauer ergaben sich Kosten von DM 13900,- (Tab. 4). Werden die Kosten auf die durchschnittliche Überlebenszeit von $95,1 \pm 3,0$ Monaten bezogen, so errechnen sich nach Elektiveingriff Behandlungskosten von DM 146,-/Monat und ähneln den von Rohrer berechneten Kosten [14]. Geringe Folgekosten für selten indizierte Nachuntersuchungen sind nicht mitberücksichtigt, bewirken aber sicher keine erheblichen Änderungen.

Diese guten Langzeitergebnisse – insbesondere auch im hohen Lebensalter von >70 Jahren – rechtfertigen die Operation. Daran werden die Ergebnisse nach Stentimplantation gemessen werden müssen.

Die Kostensituation der Stentbehandlung ist derzeit noch nicht absehbar. Dennoch werden höhere Kosten von Stents und perioperativer Diagnostik einer kürzeren stationären Behandlungsdauer sehr wahrscheinlich gegenüberstehen.

Literatur

1. Allenberg JR, Schuhmacher H (1995) Endovasculäre Rekonstruktion des infrarenalen abdominalen Aortenaneurysmas (AAA). *Chirurg* 66: 870-877
2. Bundesministerium für Gesundheit (1995) Schriftenreihe: Kalkulation von Fallpauschalen und Sonderentgelten für die Bundespflegesatzverordnung, Bd. 45, Nomos-Verlagsgesellschaft mbH & Co, Baden-Baden
3. Cappeller WA, Ramirez H, Kortmann H (1989) Abdominal aortic aneurysms. *J Cardiovasc Surg* 30: 572-578
4. Cappeller WA, Hinz MH, Lauterjung L (1996) Das infrarenale Aortenaneurysma – 10-Jahres-Verlauf nach Ausschaltungsoperation mit Kostenanalyse. *Chirurg* 67: 697-702
5. Crawford ES, Saleh SA, Babb JW, Glaeser DH, Vaccaro PS, Silvers K (1981) Infrarenal abdominal aortic aneurysm. *Ann Surg* 193: 699-709
6. Dubost C, Allary M, Oeconomos M (1952) Resection of an aneurysm of the abdominal aorta. *Arch Surg* 64: 405-411
7. Fielding JWL, Black J, Ashton F, Slaney G, Campbell DJ (1981) Diagnosis and management of 528 abdominal aortic aneurysms. *Br Med J* 283: 355-359
8. Hallett JW, Naessens JM, Ballard DJ (1993) Early and late outcome of surgical repair for small abdominal aortic aneurysms: A population-based analysis. *J Vasc Surg* 18: 684-691
9. Hertzler NR (1980) Fatal myocardial infarction following abdominal aortic aneurysm resection. *Ann Surg* 192: 667-673
10. Hollier LH, Plate G, O'Brien PC, Kazmier FJ, Glowiczki P, Pairolero PC, Cherry KJ (1984) Late survival after abdominal aortic aneurysm repair: Influence of coronary artery disease. *J Vasc Surg* 1: 290-299

W. Cappeller u. a., BAA-Langzeitergebnisse und Kosten

751

11. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD (1991) Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 5: 491-499
12. Reigel MM, Hollier LH, Kazmier FJ, O'Brien PC, Pairolero PC, Cherry KJ, Hallett JW (1987) Late survival in abdominal aortic aneurysm patients: The role of selective myocardial revascularization on the basis of clinical symptoms. *J Vasc Surg* 5: 222-227
13. Roger VL, Ballard DJ, Hallett JW, Osmundson PJ, Puetz PA, Gersh BJ (1989) Influence of coronary artery disease on morbidity and mortality after abdominal aortic aneurysmectomy: A population-based study, 1971-1987. *J Am Coll Cardiol* 14: 1245-1252
14. Rohrer MJ, Cutler BS, Wheeler HB (1988) Long-term survival and quality of life following ruptured abdominal aortic aneurysm. *Arch Surg* 123: 1213-1217
15. Schweiger H, Eisold-Brand A, Raithe D (1984) Epidemiologie und Diagnostik des abdominellen Aortenaneurysmas. *Münch med Wochenschr* 126: 915-918
16. Soreide O, Lillestol J, Christensen O, Grimsgaard C, Myhre HO, Solheim K, Trippstad A (1982) Abdominal aortic aneurysms: Survival analysis of four hundred thirty-four patients. *Surgery* 91: 188-193
17. Stonebridge PA, Callam MJ, Bradbury AW, Murie JA, Jenkins AMcL, Ruckley CV (1993) Comparison of long-term survival after successful repair of ruptured and non-ruptured abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg* 80: 585-586
18. Stühmeier KD, Mainzer B, van Poppel R, Rossaint R, Kniemeyer H-W, Sandmann W (1987) Bauchortenaneurysma - ist eine konservative Haltung noch gerechtfertigt? *Dtsch Med Wschr* 112: 1930-1935
19. White GH, Advani SM, Williams RA, Wilson SE (1988) Cardiac risk index as a predictor of long-term survival after repair of abdominal aortic aneurysm. *Am J Surg* 156: 103-107

Dr. W.-A. Cappeller
Klinik für Allgemein Chirurgie
Klinikum Kröllwitz
Martin-Luther-Universität
D-06097 Halle

7.5. Possible objectification of a critical maximum diameter for elective surgery in abdominal aortic aneurysms based on one- and three-dimensional ratios

VASCULAR PAPERS

J CARDIOVASC SURG 1997;38:623-8

Possible objectification of a critical maximum diameter for elective surgery in abdominal aortic aneurysms based on one- and three-dimensional ratios

W. A. CAPPELLER, H. ENGELMANN**, S. BLECHSCHMIDT, M. WILD*, L. LAUTERJUNG

Background. The purpose of this study was to evaluate the ratio of aneurysm size to aortic diameter (dm/ds) and newly defined volumetric parameters and to objectify by means of these parameters a critical maximum diameter (dm) as indicator for elective surgery of abdominal aortic aneurysms (AAA).

Methods. Based on contrast-enhanced CT scans one- and three-dimensional parameters were measured in 3 groups of n=58 patients selected for a) emergency surgery (n=13) in case of contained rupture and b) elective surgery (n=29) or c) non operative follow-up (n=16) if the AAA was bigger or smaller than 4.5 cm in dm. Ignoring these groups the statistically independent ratios dm/ds and thrombus to aneurysm volume (TV/AV) of all patients were retrospectively subjected to cluster and regression analyses in order to find out possible critical values confirming a dm-based decision. Thrombus (TV) and aneurysm volume (AV) correlated with increasing diameter.

Results. The ratio TV/AV predominantly increased from 0.42 to 0.65 in aneurysms 5 to 8 cm in diameter, reaching a maximum of 0.8 in AAA with contained rupture. A TV/AV of 0.45 and a dm/ds of 2.0 were found to be separators of two distinguished groups confirming a critical dm of about 5 cm.

Conclusions. The newly defined volumetric ratio TV/AV and dm/ds may objectify the dm-based decision for elective surgery or follow-up treatment. Prospective studies have to evaluate this approach.

KEY WORDS: Aortic aneurysm, abdominal surgery.

Indication for elective surgery in patients with asymptomatic abdominal aortic aneurysms (AAA) remains a matter of debate; in the sixties and seventies indication was based on studies which correlated the risk of rupture with the static maximum transverse diameter.^{1,2} In the eighties the dynamic

*From the Department of Surgery and of *Radiology, Klinikum Großhadern, Ludwig-Maximilians University, Munich, Germany
**Academy of Science
Leibniz Center of Computing, Munich, Germany*

growth rate was introduced as criterium for operation.³ Based on the fact that the growth rate increases as the aneurysm gets larger, an exponential function of size expansion of the AAA was suggested recently.⁴ However, growth rate calculations require at least two examinations during a defined time interval.

Another new approach has been realized by evaluating the thrombus-lumen-ratio.^{5,6} A significantly larger thrombus area was demonstrated in expanding AAA compared to stable AAA.⁶ More recently it was tried to relate the risk of aneurysm rupture to the individual variability of body and aortic size. A predictive potential was achieved by the aneurysm to vertebral body (L3) diameter ratio.⁷

Nevertheless the dm as indicator for surgery in AAA fulfills criteria such as 1) easy to measure by sonography and 2) good discriminating potential. In this study we will try to objectify the empirically established dm by means of one- and three-dimensional ratios.

Materials and methods

An AAA is defined as a dilatation of the infrarenal aorta showing at least a 50% increase in diameter as compared to the expected normal diameter.^{8,9} The normal infrarenal diameter ranges from 1.5 to 2.4 cm depending on age and sex.^{8,10,11}

Authors' address: W. A. Cappeller, Klinik für Allgemeinchirurgie, Martin-Luther-Universität, 06097 Halle, Germany.

CAPPELLER

ELECTIVE SURGERY IN ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

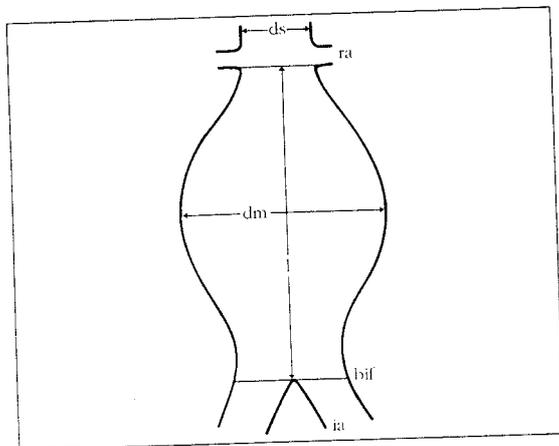


Fig. 1.—Graphic definition of parameters: dm=maximum aneurysm diameter, ds=suprarenal aortic diameter, l=aneurysmal length, bif=aortic bifurcation, ia=iliac artery, ra=renal artery.

Fifty-eight consecutive patients (range: 51 to 84 years of age) were studied at elective or urgent admission to the hospital. In all hemodynamically stable patients suffering from an infrarenal AAA contrast-enhanced CT scans were performed. Hemodynamically unstable patients were excluded from this study.

In our institution the indication for elective surgery was currently based on a dm of 4.5 cm or more, on the absence of symptoms and on the cardiologist's preoperative examination. Patients suffering from aneurysms smaller than 4.5 cm were not operated upon. If surgery was contraindicated by a metastasing malignancy or by significant risk factors, the patient nevertheless entered this study as if operated upon (n=2). The decision for emergency operation was based on symptoms and CT signs for contained rupture.

Based on these criteria 3 groups were defined: a) emergency surgery (n=13), b) elective surgery (n=29) and c) non operative follow-up treatment (n=16).

Variables

The following parameters were measured (Fig. 1):^{5,6,12}

1. One-dimensional parameters.

A. Aneurysm diameter, the maximum (dm) wall-to-wall diameter transverse to the aorta.

B. Aortic diameter (supraaneurysmal, ds), the wall-to-wall diameter transverse to the aorta and 0.5 cm above the renal arteries.

C. Aneurysm length¹ is the distance between the lower edge of the renal artery and the aortic bifurcation.

2. Three-dimensional parameters:

A. Aneurysm volume (AV), including the thrombus.

B. Thrombus volume (TV).

We then calculated the:

A. Diameter ratio which is the ratio of the maximum aneurysm diameter to the aortic diameter (dm/ds), inverse diameter ratio is ds/dm.

B. Volume ratio which is the ratio of the thrombus volume to the aneurysm volume (TV/AV).

CT scan technique

Contrast-enhanced CT scans were obtained preoperatively after an intravenous bolus injection of 10 ml of a non-ionic watersoluble contrast medium.

CT scans were performed using a whole body scanner (Somatom 2 or Somatom DRH, Siemens, Munich, Germany) with a slice thickness of 0.8 cm. Images were obtained from above the renal arteries to below the aortic bifurcation.

The volumes were accurately determined by scanner screen planimetry of every CT slice giving partial volumes (thrombus volumes TV1+TV2+... and aneurysm volumes AV1+AV2+...). These were summed up over the whole infrarenal aortic length resulting in TV and AV. All scans were evaluated by one person without knowledge of clinical signs or patient outcome.

Statistics

Median and mean values (SEM) of metric and volumetric parameters and ratios were computed for each of the defined groups. One way analysis of variance (ANOVA) was used to compare group mean values. Correlations between linear functions were calculated.

The further analysis included three important steps:

Reducing the number of parameters to simplify the approach.—A discriminant analysis was applied to reduce the number of parameters. That is, eliminate redundant parameters linear correlation coefficients between these parameters were com-

ELECTIVE SURGERY IN ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

TABLE I.—Differences in one- and three-dimensional parameters according to 3 clinical groups.

Parameters	Not operated	Operated	
		Asymptomatic	Contained rupture
Patients (n)	16	29	13
Mean age (years)	68.8±1.6	66.5±1.4	75.7±1.6
Diameter dm* (cm)	3.8±0.1	5.5±0.1	8.8±0.7
Diameter ds (cm)	2.4±0.1	2.8±0.1	2.8±0.2
dm/ds ratio*	1.6±0.1	2.0±0.1	3.3±0.3
Thrombus TV* (cm ³)	19.5±4.7	86.4±11.4	390.3±68.8
Aneurysma AV* (cm ³)	72.1±6.0	181.9±14.4	587.4±91.0
TV/AV ratio*	0.25±0.05	0.45±0.03	0.62±0.04
Length l* (cm)	8.3±0.5	9.1±0.4	11.5±0.9

Mean values±SEM; * = significant difference, ANOVA; p<0.001.

puted and—in case of a high correlation between two parameters—one of them was dropped. As AV, TV, dm and dm/ds correlated well, only one of them, that is dm/ds, and the widespread dm were chosen to be pursued. TV/AV fulfilled the criteria of an independent parameter. The reduction to only two parameters (dm/ds, TV/AV) made it possible to plot the data on a two-dimensional plane.

Cluster analysis to distinguish two groups.—As the aim of this study is to separate two groups (surgery vs no surgery) cluster analysis, an empirical method to discover patterns in data,¹³ was applied. This partitioned method groups cases by computing the variation between the cases within one group and between groups. Based on these variations each case is finally assigned to one group. It is an iterative process, because after each decision the characteristic of the group changes. The best results—according to the history of the patients—

were found by using the "kmeans-method" and the variables TV/AV and ds/dm. These parameters—contrarily to dm/ds—range both between 0 and 1 and are therefore equally weighed. The cluster analysis was executed with the Systat statistical program (Systat, Evanston, IL, USA).

Stepwise correlation analysis, to verify the border between the two groups.—The changing point of two different correlations was identified,¹⁴ that means for values above/below a certain limit dm/ds the TV/AV is statistically dependent/independent.

Results

Aneurysm sizing

According to the decision "non operative follow-up, elective or emergency surgery" one- and three-dimensional parameters and ratios were compared within 3 groups (Table I). The mean dm of 5.5 cm in the group operated on electively coincided with a dm/ds of 2.0. The length and the thrombus of the aneurysm correlated with the diameter. The low mean TV of 19.5 cm³ in the group not operated on was in part due to 6 aneurysms without any thrombus at the time of diagnosis. The aneurysms with contained rupture were found to have the biggest thrombus with the highest TV and TV/AV ratio.

In order to analyse the different parameters independently of the chosen therapy 6 groups of increasing dm were defined (Table II). Increasing dm correlated with increasing ratios and volumes. The TV/AV ratio showed that the thrombus was considerably more important in bigger aneurysms

TABLE II.—One- and three-dimensional parameters according to the maximum diameter.

Parameters	Diameter dm class (cm)					
	3.1-4.0	4.1-5.0	5.1-6.0	6.1-7.0	7.1-8.0	9.0-12.8
Patients (n)	12	15	12	8	4	7
Mean age (years)	68.3±2.0	68.8±1.9	66.7±2.4	67.4±2.1	76.3±3.5	74.1±2.7
Diameter dm (cm)	3.6±0.1	4.6±0.1	5.5±0.1	6.4±0.1	7.6±0.1	10.7±0.5
Diameter ds (cm)	2.4±0.1	2.6±0.1	2.7±0.1	3.3±0.2	3.0±0.4	2.6±0.1
dm/ds ratio	1.5±0.1	1.8±0.1	2.1±0.1	2.0±0.2	2.7±0.4	4.2±0.3
Thrombus TV (cm ³)	26.0±5.0	40.5±8.7	65.6±12.5	150.5±23.4	244.8±59.5	571.4±59.5
Aneurysma AV (cm ³)	72.0±8.0	118.2±8.3	154.0±16.6	273.9±24.1	371.4±71.9	843.4±61.1
TV/AV ratio	0.34±0.04	0.30±0.06	0.42±0.05	0.54±0.05	0.65±0.06	0.67±0.04
Length l (cm)	8.4±0.6	8.9±0.4	8.1±0.8	10.2±0.8	10.4±1.9	13.1±0.9

Mean values±SEM.

CAPPELLER

ELECTIVE SURGERY IN ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

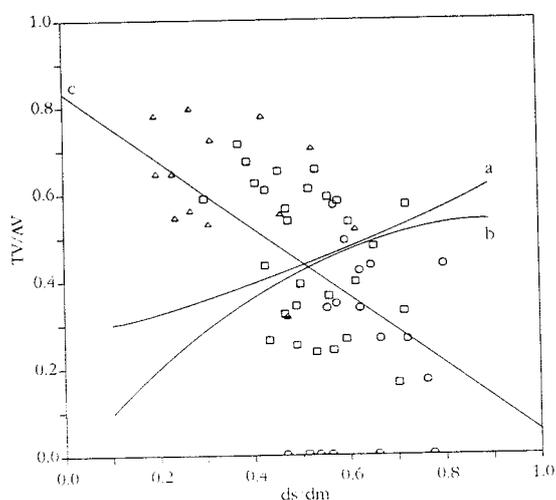


Fig. 2.—Cluster analysis ("kmeans" method, 2 clusters) based on TV/AV and ds/dm. a, b=clusters of patients determined for operation a (n=29), or follow-up treatment b (n=29); c=regression line between TV/AV and ds/dm and cutting point at TV/AV 0.83. Δ =urgent, \square =elective, \circ =no operation.

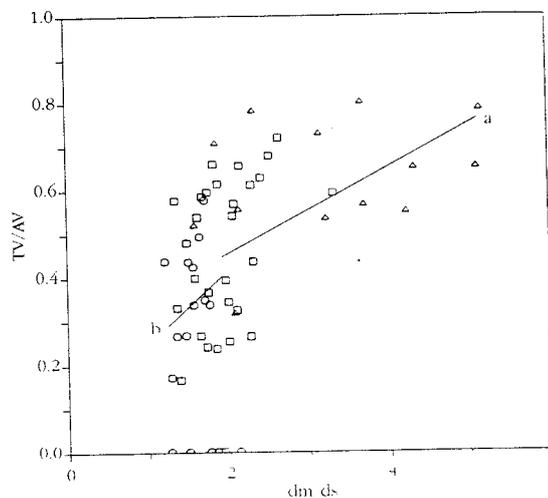


Fig. 3.—Correlation analysis based on TV/AV and dm/ds. Representation of different correlations a (n=31, r=0.29) and b (n=27, r=0.52) and the correlation changing point at dm/ds =1.96. Δ =urgent, \square =elective, \circ =no operation.

TABLE III.—Statistics of cluster a and b.

Parameters	Minimum	Mean	Maximum
Cluster a			
— TV/AV	0.43	0.61±0.09	0.80
— ds/dm	0.19	0.43±0.14	0.72
Cluster b			
— TV/AV	0.00	0.25±0.15	0.48
— ds/dm	0.43	0.60±0.10	0.80
Mean values±SD.			

than in small ones: A TV/AV ratio above 0.4 was found for aneurysms bigger than 5.0 cm in diameter (Table II). This relates to a dm/ds ratio of 2.0 or more.

Determination of critical parameters

To approach the aim of identifying objective criteria for elective surgery the most important parameters according to the discriminant analysis, the ratios ds/dm and TV/AV, were submitted to a cluster analysis independent of the grouping (Fig. 2). Two clusters a and b each of n=29 were defined:

cluster a included predominantly the emergencies, but also two aneurysms not operated upon; cluster b included those treated conservatively, but also one aneurysm operated upon urgently. The aneurysms operated upon electively fell into one of both clusters. The theoretical maximum TV/AV was determined by a regression line c cutting the TV/AV axis at 0.83 (Fig. 2). The biggest TV/AV measured was 0.81. Considering the cluster statistics (Table III) the TV/AV of 0.45 is a nearly perfect separator between cluster a and b. This suggests a better discriminating potential than for ds/dm where the overlap ranges from 0.43 to 0.72. For each cluster the mean diameter ratio dm/ds was calculated and found to be 2.33 for cluster a and 1.67 for cluster b. So the mean dm/ds inbetween was 2.0, a value considered as critical.

In a second approach TV/AV and dm/ds were approved by a correlation analysis (Fig. 3). After sorting according to dm/ds the data was divided at arbitrary points and the correlation coefficients for both groups were computed. This resulted in a distinctive break at dm/ds=1.96. The group of data above this level (n=27) had a correlation of r=0.52 and a very low probability for r to be zero

($p=0.005$). The second group ($n=31$) had a bad correlation of $r=0.29$ and a high probability for r to be 0 ($p=0.12$). The correlation changing point may suggest a certain development of the AAA above this point and a "switch to symptomatic". Graphically a TV/AV of 0.45 was determined as corresponding critical value.

So both independent ways of statistical analysis lead to nearly identical critical limits.

In order to relate the critical dm/ds to the corresponding dm both parameters were correlated ($r=0.91$), (Fig. 4). Graphically a value of 5.2 cm was found.

Discussion and conclusions

Bernstein proposed in 1984⁵ to base the indication for operation on expansion rate calculations that require at least two examinations at a defined, about 6 months' long interval from each other. Surgeons who are often involved early after an aneurysm had been diagnosed have to decide without delay whether to operate upon a patient or to follow observation. Therefore "one step" criteria such as the traditional aneurysm diameter preserved their relevance during the past 30 years, even in the era of wide-spread sonography with the ability of repeating noninvasive examinations.

Based on autopsy studies Darling reported a 9.5% rupture rate in small aneurysms suggesting an operation at 4 cm in aneurysm diameter.² Contrarily, Bernstein studying sonographic follow-ups favored the operation at 6 cm or more,³ the same did Sterpetti.¹² Others supported an indication for operation at 5 cm¹³⁻¹⁵ or—in our institution—at 4.5 cm. But what does the absolute aneurysm diameter signify if the normal aortic diameter varies individually and with age?^{8,10,11}

Therefore, the individually independent ratio dm/ds, aneurysm diameter related to the aortic diameter, was considered. It was first mentioned in 1984 by Bergan who suggested to operate upon aneurysms that are 2-3 times the diameter of the suprarenal aorta.³ Bussutil proposed an indication for operation at 1.5-2 times the aortic diameter.⁶ Sterpetti examined the concept of the dm/ds ratio and found out that the mean enlargement rate correlates with the increasing dm/ds ratio.¹² Our results were almost identical with those from Louridas:¹⁶ In asymptomatic aneurysms he found a

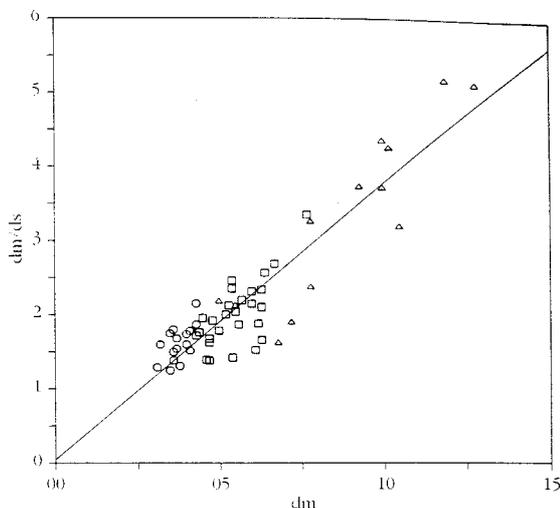


Fig. 4.—Correlation of dm/ds and dm (cm) ($r=0.91$). Δ =urgent, \square =elective, \circ =no operation.

mean dm/ds of 2.0 ($n=100$; mean dm=5.8 cm). In symptomatic aneurysms the mean dm/ds was 2.7 or 3.4 respectively without ($n=17$) or with ($n=13$) contained rupture. According to all these descriptive data a dm/ds ratio of 2.0 seems to be a good discriminating factor.

From fluid dynamics we know that a turbulent flow in a system develops either when the Reynolds number, proportional to the luminal diameter, reaches a certain limit in case of atherosclerotic endothelial alteration.¹⁷ In patients with turbulent flow Bluth observed by Duplex sonography an increase in the amount of mural thrombus.¹⁸ The thrombus, however, does not contribute to wall stability as the thrombus acts as solidified blood and offers little retractive force¹⁹ explaining the symptoms and ruptures in aneurysms with big thrombus. Therefore, we focused on the thrombus size.

To our knowledge volumetric parameters of thrombus in aneurysms have not been investigated to date. In this study we demonstrated that the thrombus increases with the diameter in aneurysms with a dm above 5 cm. Even the TV/AV ratio increased as function of the maximum diameter dm within the limit 5 to 8 cm suggesting a predomi-

CAPPELLER

ELECTIVE SURGERY IN ABDOMINAL AORTIC ANEURYSMS

nant development of the thrombus (Table II). Pillari has published a very similar result.⁵ Based on the CT determined area he observed a statistically significant increase in thrombus volume in aneurysms 5 to 7 cm in diameter. But he found a smaller thrombus in aneurysms of more than 7 cm in diameter and discussed a thrombus transformation as possible cause. We remarked a stable relationship of a mean TV/AV of 0.65 (Table II).

Furthermore, the ratio TV/AV was identified to have the best discriminating potential (TV/AV = 0.45), (Fig. 2, Table III). By means of two different statistical methods we independently determined a critical dm/ds of about 2.0 (Fig. 2 and text) which was correlated to a dm of 5.2 cm (Fig. 4). So these ratios confirmed the empirically established indicator dm of about 5 cm for elective surgery.

Undoubtedly even these personally independent ratios cannot completely avoid the disastrous rupture but may help to objectify the dm-based indication for elective surgery. Nevertheless, we have to keep in mind that this retrospective approach does not permit to change any of our criteria. The well-established parameter dm, though individually dependent, is still a simple and rather reliable measure as shown by the excellent correlation with dm/ds. It will remain so until the ratios TV/AV and dm/ds are evaluated prospectively.

References

1. Szilagyi DE, Smith RF, DeRusso FJ, Elliott JP, Sherrin FW. Contribution of abdominal aortic aneurysmectomy to prolongation of life. *Ann Surg* 1966;164:678-99.
2. Darling RC, Brewster DC. Elective treatment of abdominal aortic aneurysms. *World J Surg* 1980;4:661-7.
3. Bernstein EF, Chan EL. Abdominal aortic aneurysms in high-risk patients. Outcome of selective management based on size and expansion rate. *Ann Surg* 1984;200:255-63.
4. Limet R, Sakalil Hassan N, Albert A. Determination of the expansion rate and incidence of rupture of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 1991;14:540-8.
5. Pillari G, Chang JB, Zito J, Cohen JR, Gersten K, Rizzo A *et al*. Computed tomography of abdominal aortic aneurysm. *Arch Surg* 1988;123:727-32.
6. Krupski WC, Bass A, Thurston DW, Dilley RB, Bernstein EF. Utility of computed tomography for surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *Arch Surg* 1990;125:1345-50.
7. Ouriel K, Green RM, Donayre C, Shortell CK, Elliott J, DeWeese JA. An evaluation of new methods of expressing aortic aneurysm size: relationship to rupture. *J Vasc Surg* 1992;15:12-8.
8. Johnston KW, Rutherford RB, Tilson MD, Shah DM, Hollier J, Stanley JC. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. *J Vasc Surg* 1991;15:444-50.
9. Evans GHC, Stansby G, Hamilton G. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms: Letter to the editor. *J Vasc Surg* 1992;15:456.
10. Dixon AK, Lawrence JP, Mitchell JRA. Age-related changes in the abdominal aorta shown by computed tomography. *Clin Radiol* 1984;35:55-7.
11. Horejs D, Gilbert PM, Burstein S, Vogelzang RL. Normal aortoi-liaic diameters by CT. *J Comput Assist Tomogr* 1988;12(4):602-3.
12. Sterpetti AV, Schultz RD, Feldhaus RJ, Cheng SE, Pectz D. Factors influencing enlargement rate of small abdominal aortic aneurysms. *J Surg Res* 1987;43:211-9.
13. Kaufmann L, Rousseeuw PJ. Finding groups in data. An introduction to cluster analysis. New York: John Wiley & sons Inc., 1990.
14. Press WH, Flannery BP, Teukolsky SA, Vetterling WT. Numerical recipes in C. the art of scientific computing. Cambridge, New York, Melbourne, Sydney: Cambridge University 1988:503-6.
15. McCabe CJ, Coleman WS, Brewster DC. The advantage of early operation for abdominal aortic aneurysms. *Arch Surg* 1981;116:1025-9.
16. Louridas G, Reilly K, Perry MO. The role of the aortic aneurysm diameter ratio in predicting the risk of rupture. *SAM* 1990;78:042-5.
17. Moulder PV. Physiology and biomechanics of aneurysms. In: Kerstein MD, Moulder PV, Webber WR, editors. *Aneurysms*. Baltimore, USA: Williams and Wilkins, 1983:1-18.
18. Bluth EI, Murphey SM, Hollier LH, Sullivan MA. Color flow Doppler in the evaluation of aortic aneurysms. *Int Angiol* 1990;9:8-10.
19. Dobrin PB. Pathophysiology and pathogenesis of aortic aneurysms. *Surg Clin N Am* 1989;69:687-703.

7.6. Ten-year results following elective surgery for abdominal aortic aneurysm

Ten-year results following elective surgery for abdominal aortic aneurysm

W.-A. CAPPELLER, D. HÖLZEL*, M. H. HINZ, L. LAUTERJUNG

From the Department of Surgery and Institute for Medical Informatik,
*Biometrie and Epidemiology, Klinikum Grosshadern, Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany

Objective. 10-year results after elective operation for infrarenal aortic aneurysm considering the influence of risk factors.

Experimental design. Retrospective study with 5-12 year postoperative follow-up.

Setting. University hospital (Klinikum Grosshadern, Munich).

Patients. The long-term follow-up was based on 521 (95.6%) out of 545 consecutive patients operated upon electively for abdominal aortic aneurysm between 1978 and 1987.

Interventions. The infrarenal aneurysms were excluded by aortic tube grafts (314 patients, 59%) or bifurcation grafts (231 patients, 41%).

Measures. The birthday, operation day and eventually the day of death in the hospital were documented in the charts. The patient's state or cause of death were elicited on the phone 5 to 12 years after the operation. Kaplan-Meier survival curves were calculated based on these data and compared to age-matched normal male populations.

Results. Hospital mortality was 6.4%. The cumulative rate of survival following elective surgery was 65% at 5 years and 41% at 10 years, the mean survival time being 95.1 months. Age, coronary artery disease and hypertension had a significant influence on the cumulative survival. Patients with aorto-coronary bypass had a better long-term outcome than those without bypass surgery.

Conclusions. The excellent long-term results within a high-risk population support elective surgery of infrarenal aortic aneurysms. Results of new interventional techniques will have to be compared with this "golden standard" follow-up.

[Int Angiol 1998;17:234-40]

Key words: Aortic aneurysm abdominal surgery - Treatment outcome - Survival rate - Risk factors - Retrospective studies.

Before the era of surgery the 5-year mortality of patients suffering from an infrarenal

abdominal aortic aneurysm (AAA) was 81%. In two thirds of these rupture of the aneurysm was the cause of death.¹ Even in the beginning of sonography a spontaneous 2-year mortality of 72% was reported for patients with aneurysms of more than 6 cm in diameter.² Prognosis has considerably improved since the first surgical graft replacement performed by Dubost in 1951 with a homologue aortic graft.³

Since then the elective transabdominal operation with tube or bifurcation graft replacement of AAA has become a well standardized routine procedure. Consequently the perioperative mortality came down to about 5% in the leading centres some 10 years ago but remained unchanged since then. This is undoubtedly due to the rising importance of risk factors such as coronary artery disease, history of myocardial infarction and hypertension with increasing age.^{4,6}

In the era of new interventional therapeutic procedures the influence of these risk factors on the perioperative mortality and on the long-term outcome of aneurysm surgery should be discussed again. Since Parodi's first transfemoral aneurysm repair with a stent graft in 1991⁷ everyone involved in AAA surgery has to consider this promising alternative therapy that might further reduce the perioperative mortality to nearly zero, even in old high-risk patients. Long-term results, however, will only be available after 10 years and have to be thoroughly compared to those discussed below.

Received February 18, 1997; accepted for publication May 5, 1997.

Materials and methods

Clinics

Within the decade January 1978 to December 1987 545 patients were operated upon electively for an atherosclerotic AAA in the Department of Surgery, Klinikum Grosshadern, LMU München. The indication for elective operation was predominantly based on a minimum transverse diameter of 4.5 cm in asymptomatic patients. This aneurysm diameter, the distance to the renal arteries and the shape of the iliac arteries were determined routinely by computer tomography. Angiography was necessary only in the case of specific questions concerning a possible stenosis, obliteration or further aneurysm in renal or peripheral arteries.

During the operation the vascular graft was implanted through a transabdominal access in "graft-inclusion technique" the aneurysm sac being closed around the graft. The inferior mesenteric artery was not re-implanted.

Collection of data

Retrospectively all the charts were reviewed for the birthday, for the operation day and eventually for the day of death if it occurred in the hospital (35, 6.4%). Preoperative risk factors such as coronary artery disease (CAD) with or without aorto-coronary bypass (AOCB) and hypertension were thoroughly registered based on the cardiologist's examination. At minimum of 5 years to more than 12 years after surgery the patients were contacted for follow-up information. If possible the patient himself or one of the relatives was asked on the phone. In a few cases the family doctor, the hospital of the patient's last treatment or the insurance company was involved. We succeeded in getting the date of control or the date of death in 95.6% of all patients (521/545) and the cause of death in 88.4% (237/268).

Statistics

Mean values were presented together with standard error of means. By means of the SPSS software program (version 6.0.1, SPSS Inc, Chicago, Ill, USA) we calculated the cumulative survival rate according to Kaplan-Meier⁸ and the mean time of survival of different sub-

TABLE I.—Frequency of risk factors (CAD: coronary artery disease).

Risk factors	Patients	
	N	%
Age (years):		
≤60	103	19.8
60≤70	230	44.1
>70	188	36.1
CAD		
Yes	285	55.3
Hypertension		
Yes	277	53.6

groups. Significant differences between these survival curves and those of an age-matched normal male population were calculated based on the "log-rank-test". A probability of $p < 0.05$ was defined as statistically significant.

Results

General data and perioperative mortality

The patients operated upon electively included 485 (89%) men and 60 (11%) women with a mean age of 66.7 ± 8.2 years. Three age groups were determined "≤60, 60-70 and >70 years" with mean ages of 54.4 ± 0.6 , 65.2 ± 0.2 and 74.6 ± 0.2 years respectively (Table I). Over half (55.3%) of the patients suffered from CAD of different severity. Twenty-three of these patients had AOCB 3 months to 6 years before surgery of the AAA. Hypertension was documented in 53.6% and already treated since several years (Table I). Tube grafts were implanted in 314 (59%) and bifurcation grafts in 231 patients (41%) suffering from AAA and from aorto-iliac occlusive disease or from aneurysms of the iliac arteries simultaneously.

Those patients who were operated upon successfully were treated in the intensive care unit for 4.2 ± 5.4 days. They stayed in the hospital 12.8 ± 7.6 days after elective operation. Then they were discharged or transferred to peripheral hospitals for further treatment and rehabilitation.

Out of 545 patients 35 (6.4%) died in the clinics before discharges (hospital mortality). The 30-day mortality, however, was 27 (4.9%). The causes for the hospital mortality were multiple: 37% (13) died of multiple organ failure, the most important cause of death, followed by 26% (9) cardiac failures (Table II). The in-hospital-stay was 22.3 ± 25.6 days for those who died.

TABLE II.—Hospital mortality and its causes following elective operation.

Causes	Hospital mortality	
	N	%
Multiple organ failure	13	37
Cardiac	9	26
Shock	2	6
Pulmonary	4	11
Sepsis	4	11
Cerebral	2	6
Others	1	3
Total	35	100

Long-term follow-up

In order to evaluate a long postoperative period the minimum time of control was 5 years. The mean time of control of all patients who were still alive was 98.1 ± 1.4 months.

Excluding hospital mortality the cumulative 5- and 10-year survival rates following elective operation were 64.6% and 41.0% (Fig. 1). The mean survival time was 95.1 ± 3.0 months. Both age-matched normal male populations, the Hertzner population and that based on the Federal Bureau of Statistics, had a significant better 5- and 10-year survival rate ($p < 0.01$).^{9 10}

To analyze the influence of the specific risk factors, survival rates based on age groups, on CAD with or without AOCB and on hypertension rate were established. The cumulative survival rate and the mean survival time according to these groups " ≤ 60 , 60-70 and > 70 years of age" differed significantly ($p < 0.001$) (Fig. 2). The mean survival time was 118 ± 6.3 , 97 ± 4.2 and 76 ± 4.2 months, respectively.

The influence of CAD on the survival rate was different in the age groups defined above. Below 60 years up to 70 years of age absence or presence of CAD had no significant influence on the survival rate (Figs. 3A, B). In those patients more than 70 years of age, however, the survival rate was significantly better for patients without CAD compared to those suffering from CAD ($p < 0.005$), (Fig. 3C). The survival curves of normal age- and sex-matched groups were significantly better in both age groups ≤ 60 and 60-70 years but paralleled the CAD negative group of patients over 70 years of age (Figs. 3A-C). The few patients with an AOCB had a significantly better survival rate compared to those suffering

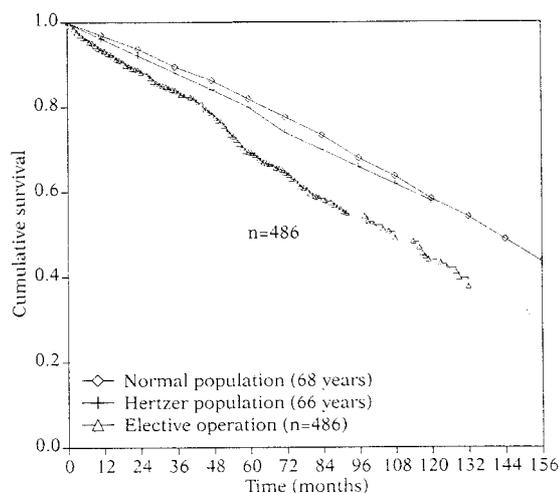
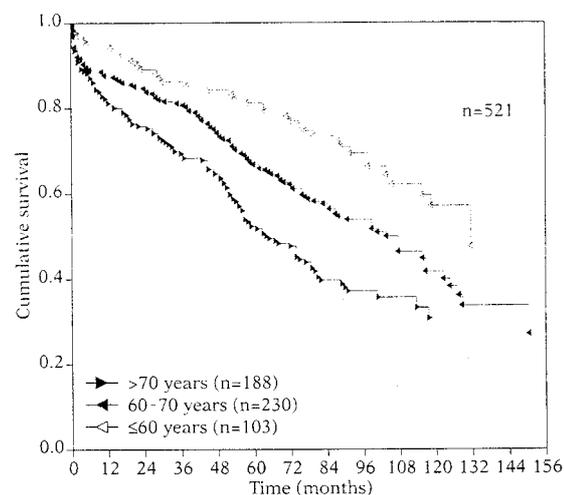


Fig 1.—Cumulative survival of patients operated upon electively, hospital mortality excluded, compared to age-matched normal male populations.

Fig 2.—Cumulative survival of three age groups: a) ≤ 60 , b) 60-70 and c) > 70 years, hospital mortality excluded.

from surgically untreated CAD or even to those without CAD ($p < 0.01$), (Fig. 4).

Hypertension did influence the survival rate in those patients over 60 years of age: patients without this risk factor had a significantly better long-term result ($p < 0.05$), (Fig. 5A). In patients 60-70 and over 70 years of age hypertension did not show an effect on long-term

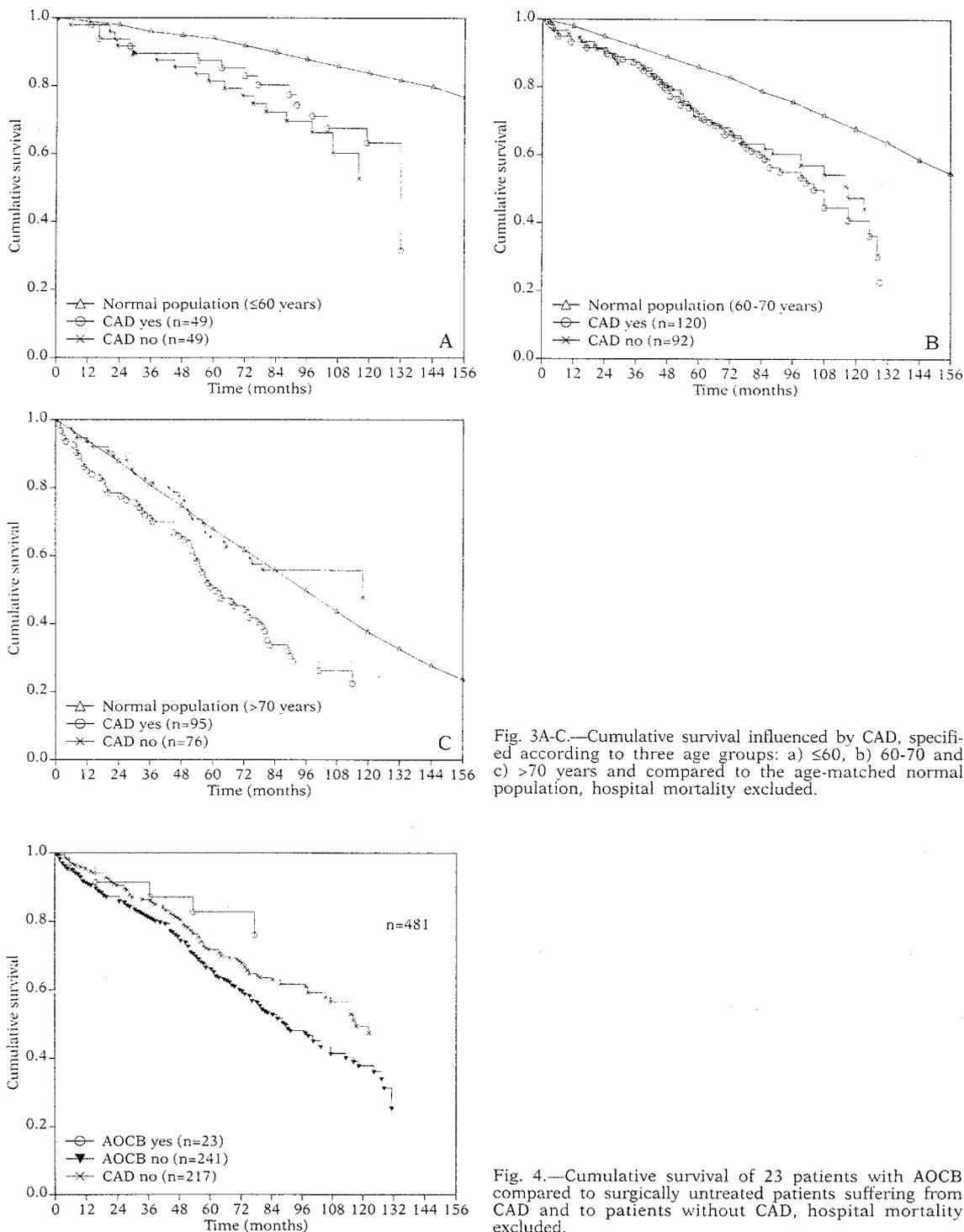


Fig. 3A-C.—Cumulative survival influenced by CAD, specified according to three age groups: a) ≤60, b) 60-70 and c) >70 years and compared to the age-matched normal population, hospital mortality excluded.

Fig. 4.—Cumulative survival of 23 patients with AOCB compared to surgically untreated patients suffering from CAD and to patients without CAD, hospital mortality excluded.

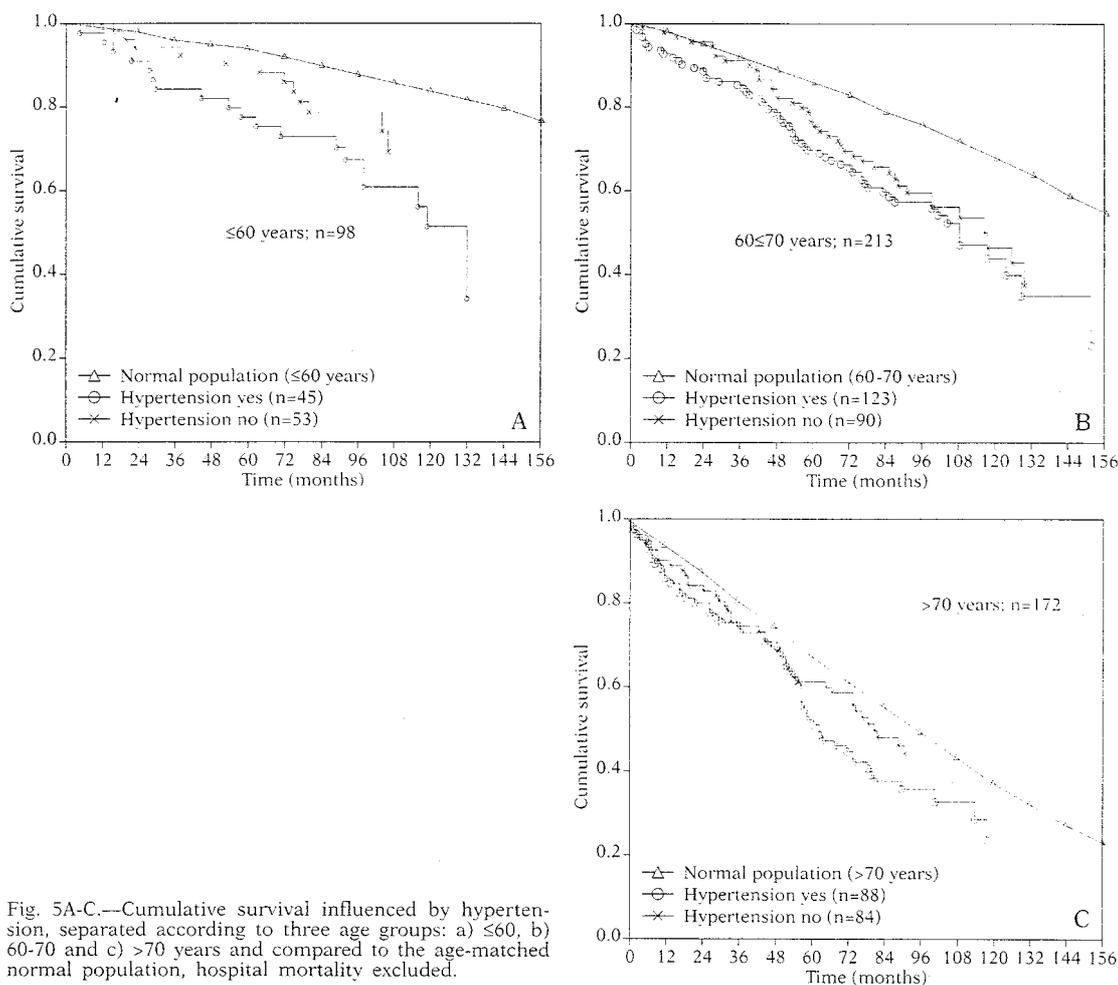


Fig. 5A-C.—Cumulative survival influenced by hypertension, separated according to three age groups: a) ≤ 60 , b) 60-70 and c) > 70 years and compared to the age-matched normal population, hospital mortality excluded.

results (Figs. 5B, C). Compared to the normal population the survival rates of patients operated upon were significantly worse in all three age groups ($p < 0.001$ for ≤ 60 and 60-70 years and $p < 0.05$ for ≥ 70 years of age) (Figs. 5A-C).

Late mortality was predominantly caused by CAD and its complications such as myocardial infarction (48.9%). The second most important cause of death were different malign tumours (12.9%) such as bronchial or gastro-intestinal carcinoma (Table III). Others were cerebral or pulmonary diseases. Only 5 patients died of vascular complications such as thoracic aortic aneurysm or one of the anastomotic aneurysms.

TABLE III.—Late mortality and its causes following elective operation.

Causes	Late mortality	
	N	%
Cardiac	114	48.9
Malignancies	30	12.9
bronchial	11	
gastrointestinal	8	
others	11	
Cerebral	20	8.6
Pulmonary	13	5.6
Gastrointestinal	4	1.7
Vascular	5	2.1
Others	47	20.2
Total	233	100

TABLE IV.—5- and 10-year survival rates and perioperative mortality following elective surgery (*perioperative mortality included).

Authors	Years	Patients (N)	Perioperative mortality (%)	Survival rate* (%)	
				5 years	10 years
Crawford ¹⁵	1981	857	4.8 (30 days)	63	38
Soreide ¹⁶	1982	200	3.5 (30 days)	71	
Reigel ¹³	1987	499	2.8 (?)	71	
Rohrer ¹⁷	1988	91	6.0 (hospital)	69	38
White ¹⁸	1988	96	3.1 (30 days)	61	
Stonebridge ¹⁹	1993	311	3.8 (?)	66	45
Hallett ²⁰	1993	130	4.6 (30 days)	61	
Own	1995	521	6.4 (hospital)	65	41

Discussion and conclusions

Preoperative risk

The presence of an AAA should be considered a marker for atherosclerosis and suggestive of extensive and severe CAD.¹¹ As these patients are characterized by relatively mild symptoms of CAD at the time of surgery (only 4% had class III angina) an intensive preoperative diagnostic protocol is necessary.¹¹ Routine coronary angiography was abandoned in the eighties because it subjects some patients with asymptomatic coronary disease to the risks of an invasive procedure. The diagnosis can be achieved by non-invasive examinations such as dipyridamole-thallium imaging or stress-echocardiography. The continued improvement of screening techniques may further decrease the number of patients subjected to coronary angiography.¹² Only in the case of signs of ischaemic areas is the invasive diagnostic procedure indicated. According to the angiographic results an interventional procedure such as dilatation or cardiac surgery should be performed before operation for the AAA. Perioperative cardiac mortality is below 2% after selective coronary angiography and AOCB.¹³

Perioperative mortality

Perioperative mortality can be considered either as postoperative mortality within 30 days or as mortality during the complete in-hospital stay.^{5 14} This is always above the 30-day mortality. Following elective operation for AAA the 30-day mortality came to 3-4% in the eighties whereas the in-hospital mortality surpassed 6% (Table IV). The reason for this difference is optimised intensive care treatment. It prolon-

gates life predominantly in patients who suffer from infections such as pneumonia or heart attacks with subsequent multiple organ failure. These patients often die beyond the 30-day limit. They contribute to a considerable third of the perioperative deaths (Table II). Myocardial infarction is the main reason for the second most important group of perioperative cardiac deaths.

Long-term outcome

The long-term outcome after surgery is influenced by the perioperative mortality. That is why the Kaplan-Meier survival curve is linearly decreased by this mortality rate.

Following elective operation a 5- or 10-year survival rate of 65% or 40% respectively is standard, including the in-hospital mortality (Table IV, Fig. 1). These results are significantly worse than the calculated rate of a normal age-matched population in Hertzner's series from 1986²¹ or the calculated rate based on our patients and the data of the Federal Bureau of Statistics, Wiesbaden, Germany.¹⁰ Obviously those patients operated upon for AAA suffer more from this life-threatening systemic atherosclerosis than the age-matched population.

Age, CAD and hypertension are the well-known risk factors that certainly influence the long-term prognosis. The risk factor "Age" has been well evaluated and its influence on long-term results is represented in Figure 2.

As selective management of CAD in patients younger than 70 years of age has resulted in survival less than expected compared to the age- and sex-matched controls and as 70% of late deaths in this group were related to a car-

diac complication a more aggressive approach would appear indicated¹³ (Figs. 3A-C). In our series only patients older than 70 years without CAD had a survival rate equal to the age-matched controls whereas those suffering from CAD had a worse survival rate. These results are somewhat similar to those published by Reigel: Patients with no evidence of CAD had survival rates significantly better than the matched population whereas those patients with either corrected or uncorrected CAD did as well as the matched population.¹³ This is most probably an expression of patient selection.

The role of AOCB on reducing late cardiac deaths is less clear compared to the effect on perioperative deaths.¹³ We have shown a significantly better long-term outcome in 23 patients with AOCB compared to those without bypass ($p < 0.01$), (Fig. 4). However, this effect could be due to stringent selective criteria knowing that these bypass operations had been performed in the beginning of the eighties. At that period not everyone needing an operation was operated upon for CAD. Furthermore the number of patients undergoing bypass operations is small and does not allow one to draw substantial conclusions. Similar results were reported by different authors.²¹

Preoperative hypertension was associated with a decreased survival time as shown previously²² and confirmed by this data. But with increasing age the effect of hypertension on the long-term outcome seems to diminish suggesting a different factor such as CAD being of major importance.

These excellent long-term results within a high-risk population support elective surgery of infrarenal aortic aneurysms. Results of new interventional techniques will have to be compared with this "gold standard".

References

1. Estes JE. Abdominal aortic aneurysm: A study of one hundred and two cases. *Circulation* 1950;11:258-64.
2. Szilagyi DE, Elliott JP, Smith RF. Clinical fate of the patient with asymptomatic abdominal aortic aneurysm and unfit for surgical treatment. *Arch Surg* 1972; 104:600-606.
3. Dubost C, Allary M, Oeconomos N. Resection of an aneurysm of the abdominal aorta. *Arch Surg* 1952;64:405.
4. Campbell WB. Mortality statistics for elective aortic aneurysms. *Eur J Vasc Surg* 1991;5:111-3.
5. Cappeller WA, Ramirez H, Kortmann H. Abdominal aortic aneurysms. *J Cardiovasc Surg* 1989;30:572-8.
6. Johnston KW, Scobie TK. Multicenter prospective study of nonruptured abdominal aortic aneurysms. I. Population and operative management. *J Vasc Surg* 1988;7:69-81.
7. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 1991;5:491-9.
8. Kaplan EL, Meier P. Non-parametric estimation from incomplete observations. *J Am Stat Assoc* 1958;53:457-81.
9. Hertzner NR. Fatal myocardial infarction following abdominal aortic aneurysm resection. *Ann Surg* 1980;192:667-73.
10. Sterbetafel 1991/93, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Germany.
11. Roger VL, Ballard DJ, Hallett JW, Osmundson PJ, Puetz PA, Gersh BJ. Influence of coronary artery disease on morbidity and mortality after abdominal aortic aneurysmectomy: A population-based study, 1971-1987. *J Am Coll Cardiol* 1989;14:1245-52.
12. Suggs WD, Smith RB, Weintraub WS, Dodson TF, Salam AA, Motta JC. Selective screening for coronary artery disease in patients undergoing elective repair of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 1993;18:349-57.
13. Reigel MM, Hollier LH, Kazmier FJ, O'Brien PC, Pairolero PC, Cherry KJ *et al.* Late survival in abdominal aortic aneurysm patients: The role of selective myocardial revascularization on the basis of clinical symptoms. *J Vasc Surg* 1987;5:222-7.
14. Fielding JWL, Black J, Ashton F, Slaney G, Campbell DJ. Diagnosis and management of 528 abdominal aortic aneurysms. *Br Med J* 1981;283:355-9.
15. Crawford ES, Saleh SA, Babb JW, Glaeser DH, Vaccaro PS, Silvers A. Infrarenal abdominal aortic aneurysm. *Ann Surg* 1981;193:699-709.
16. Soreide O, Lillestol J, Christensen O, Grimsgaard C, Myhre HO, Solheim K *et al.* Abdominal aortic aneurysms: Survival analysis of four hundred thirty-four patients. *Surgery* 1982;91:188-93.
17. Rohrer MJ, Cutler BS, Wheeler HB. Long-term survival and quality of life following ruptured abdominal aortic aneurysm. *Arch Surg* 1988;123:1213-7.
18. White GH, Advani SM, Williams RA, Wilson SE. Cardiac risk index as a predictor of long-term survival after repair of abdominal aortic aneurysm. *Am J Surg* 1988;156:103-7.
19. Stonebridge PA, Callam MJ, Bradbury AW, Murie JA, Jenkins AMcL, Ruckley CV. Comparison of long-term survival after successful repair of ruptured and nonruptured abdominal aortic aneurysm. *Br J Surg* 1993;80:585-6.
20. Hallett JW, Naessens JM, Ballard DJ. Early and late outcome of surgical repair for small abdominal aortic aneurysms: A population-based analysis. *J Vasc Surg* 1993;18:684-91.
21. Hertzner NR, Young JR, Beven EG, O'Hara PJ, Graor RA, Ruschhaupt WF *et al.* Late results of coronary bypass in patients with infrarenal aortic aneurysms. *Ann Surg* 1987;205:360-7.
22. Hollier LH, Plate G, O'Brien PC, Kazmier FJ, Glowiczki P, Pairolero PC *et al.* Late survival after abdominal aortic aneurysm repair: Influence of coronary artery disease. *J Vasc Surg* 1984;1:290-9.

Address reprint requests to: W-A. Cappeller, Department of General Surgery, Martin-Luther-Universität, 06097 Halle, Germany.

8. DANKSAGUNG

An dieser Stelle gilt mein Dank einer Reihe von wohlwollenden und hilfreichen Menschen, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Meinem verehrten Chef, Herrn *Prof. Dr. H. Dralle*, bin ich zu außerordentlich großem Dank verpflichtet. Er hat mir die Verantwortung für die klinische Gefäßchirurgie übertragen, mich darin gefördert und mir somit die Basis für diese wissenschaftlichen Untersuchungen geschaffen. Darüber hinaus hat er das Gelingen dieser Arbeit nicht nur mit kritischen Anmerkungen wohlwollend unterstützt.

Mein besonderer Dank gilt ebenso Herrn *Prof. Dr. Dr. hc. G. Heberer* (verstorben), der mich zu einem kritisch denkenden Chirurgen angeleitet hat und mir darüber hinaus einen 15-monatigen Forschungsaufenthalt an der Harvard Medical School in Boston als Grundlage einer wissenschaftlichen Ausbildung ermöglicht hat, Herrn *Prof. Dr. Dr. hc. F.W. Schildberg*, der mir die Möglichkeit zur Schwerpunkt-Weiterbildung „Gefäßchirurgie“ eingeräumt hat und Herrn *Prof. Dr. L. Lauterjung*, der mich in gefäßchirurgischem und interventionellem Denken und Handeln unterrichtete.

Weiterhin haben Kollegen, Schwestern, medizinisch-technische Assistentinnen und Sekretärinnen sowie Doktoranden der Chirurgischen Kliniken der Ludwig-Maximilians-Universität München Großhadern und der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg viel zum Gelingen des Projektes beigetragen.

Allen gilt mein herzlichster Dank für die Unterstützung.