

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Herzkatheteruntersuchung

Bei den Koronarangiographien wurden folgende Ergebnisse dokumentiert:

- totaler Gefäßverschluss - 5 Patienten,
- subtotale Stenose - 6 Patienten,
- Stenose zwischen 90 und 99 % - 3 Patienten und
- 70 %ige Stenose - 1 Patient.

Die Beurteilung der Koronarperfusion nach der TIMI-Gradation ⁷⁹ ergab folgende Resultate:

- TIMI 0 – 5 Patienten,
- TIMI 1 – 3 Patienten,
- TIMI 2 – 4 Patienten und
- TIMI 3 – 3 Patienten.

Die periphere Strombahn wurde bei allen Studienteilnehmern mit totalem und bei 4 von 5 Patienten mit subtotaler Stenose über Kollateralen versorgt. Patientin Nr.14 wies eine subtotale Koronarstenose ohne Kollateralversorgung der Peripherie auf.

Von den 240 linksventrikulären Myokardsegmenten (entsprechend dem 16-Segment-Modell der *American Society of Echocardiography* ⁷⁶) aller Studienteilnehmer waren 117 (49 %) Segmente von einer Koronarstenose > 70 % betroffen, wobei pro Patient zwischen 4 und 12 Myokardsegmente (Median 7) involviert waren (Abb. 6).

Im Hinblick auf die regionale myokardiale Kontraktilität zeigten sich bei Aufnahme in die Studie bei den insgesamt 117 stenoseabhängigen Segmenten folgende Befunde:

- 24 (21 %) dyskinetisch,
- 32 (27 %) akinetisch,
- 46 (39 %) hypokinetisch und
- 15 (13 %) normokinetisch.

Tabelle 7 ordnet die Herzkatheterbefunde im Einzelnen den jeweiligen Patienten zu.

Tab. 7: Ergebnisse der Linksherzkatheteruntersuchung

Pat. Nr.	Gefäß	V-Typ	Koronarsegment	Stenosegrad [%]	Fluss (TIMI)	Kollateralen	Regionale Kontraktilität *																EF	GF			
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16					
1	RIVA	L	13	99	1	+											1	1	1	2	2	2	2	2	2	0,27	0
				<20	1												1	1	1	2	2	1	1	1	1	0,28	0
2	RIVA	A	12	100	0	++				1	1	1					1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0
				90	2					1	1	1					1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	0
3	RIVA	R	13	95	3	-											3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,68	3
				70	3												3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,66	3
4	RIVA	R	13/16	100/90	0	+										1	1	2								0,23	0
				80/80	3											2	2	3								0,23	1
5	RIVA	R	13	100	0	++				2	2					0	0	0								0,22	0
				<20	3					2	2					0	0	0								0,24	0
6	RIVA	A	13/14	90/80	3	-										2	2				1	1	1	1	1	0,54	1
				60/80	3											2	2				1	1	1	1	1	0,63	1
7	RIVA	R	14	100	0	++										0	0	0								0,26	0
																											**
8	RCA	R	1/2	99/80	2	+							1	1	1						2	2	3			0,53	1
				30/30	3								1	1	0						2	2	3			0,55	1
9	RIVA	A	12	100	0	++										3	2	2			2	2	2	2	2	0,69	2
				<20	3											3	3	3			2	2	2	3	3	0,69	3
10	RCX	A	18	99	1	+							1	2						1	1					0,45	1
				100	0								1	2						1	1					0,44	1
11	RIVA	A	13	99	2	++										2	2	2					2	2	2	0,81	3
				95	3											3	3	3					3	3	3	0,81	3
12	RIVA	A	13	99	1	+										1	1	1					1	0	0	0,38	1
				99	2											1	1	1					1	2	2	0,65	2
13	RIVA	A	13	60	3	+										2	2						2	2	2	0,59	1
				50	2											2	2						3	2	2	0,67	2
14	RIVA	R	13	99	2	-										2	2						3	1	1	0,62	3
				<20	3																		3	2	2	0,68	3
15	RIVA	R	12	90	2	-										3	3						3	2	2	0,63	3

1. Zeile Ausgangsbefund, 2. Zeile Nachuntersuchung vom betroffenen Koronargefäß, versorgtes linksventrikuläres Myokardsegment

EF = Ejektionsfraktion, Fluss (TIMI) = Fluss nach der Gradation der Thrombolysis-In-Mycardial-Infarction-Studie (3 = normaler Fluss, 2 = verzögerter Fluss, aber das Gefäß stellt sich noch vollständig dar, 1 = verzögerter Fluss und unvollständige Gefäßdarstellung, 0 = kein Fluss), Gefäß = betroffenes Koronargefäß (RIVA = Ramus interventricularis anterior, RCX = Ramus circumflexus, RCA = rechte Koronararterie), Kollateralen (++) = deutlich ausgeprägt, + = gering ausgeprägt, - = keine), GF = linksventrikuläre systolische Gesamtfunktion (3 = normal, 2 = gering, 1 = mittelgradig, 0 = hochgradig eingeschränkt), Koronarsegment nach der Klassifikation der American Heart Association^{1,2}, Pat. Nr. = Patientennummer, Regionale Kontraktilität* nach dem 16-Segment-Modell der American Society of Echocardiography^{1,6} (3 = normal, 2 = hypokinetisch, 1 = normokinetisch, 0 = dyskinetisch), V-Typ = Versorgungstyp (L = Linkstyp, R = Rechtstyp, A = ausgeglichener Versorgungstyp, ** = Rekanalisation nicht möglich)

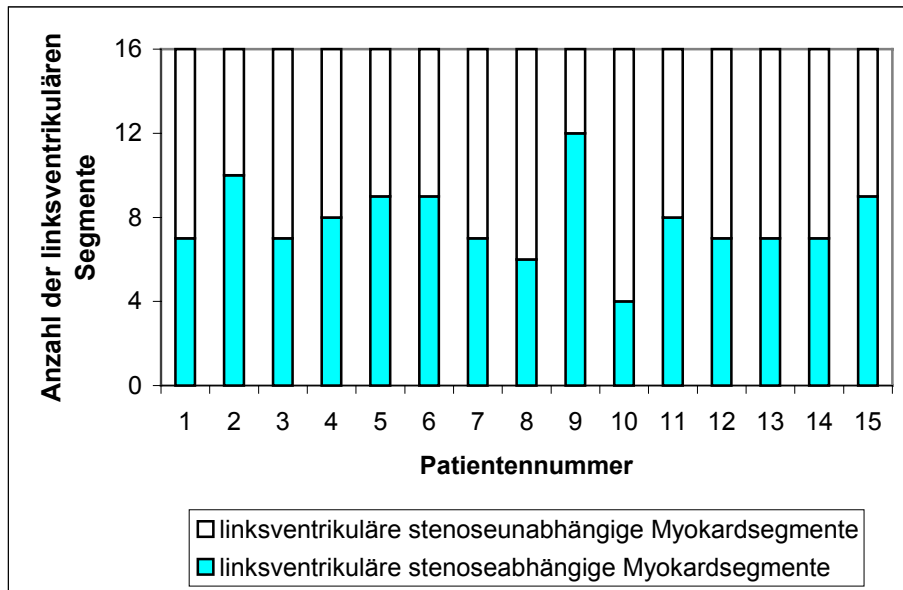


Abb. 6: Darstellung der Anzahl der linksventrikulären stenoseabhängigen bzw. stenoseunabhängigen Myokardsegmente in einem Säulendiagramm

Die semiquantitative Einschätzung der systolischen linksventrikulären Gesamtfunktion führte zu folgenden Ergebnissen:

- hochgradig eingeschränkt - 5 Patienten,
- mittelgradig eingeschränkt - 5 Patienten,
- gering eingeschränkt - 1 Patient und
- normal - 4 Patienten.

Die Ejektionsfraktion der Patienten lag im Mittel (\pm Standardabweichung) bei $0,48 \pm 0,19$ (Streubereich 0,22 bis 0,81).

Nach primärer PTCA und ggf. Stentimplantation konnte bei 13/15 Patienten eine normale Koronarperfusion Gefäßfluss (TIMI 3) und bei einer Patientin (Nr. 2) eine fast normale Perfusion (TIMI 2) erreicht werden. Patient Nr. 7 konnte nicht rekanalisiert werden.

Bei den invasiv nachuntersuchten Patienten waren 101 von 208 Segmenten (49 %) zuvor von einem Koronargefäßverschluss bzw. einer Stenose betroffen. Es zeigten sich in den Myokardsegmenten folgende Ergebnisse:

- 11 (11 %) dyskinetisch,
- 31 (31 %) akinetisch,
- 30 (30 %) hypokinetisch und
- 29 (29 %) normokinetisch.

Eine regionale Verbesserung der linksventrikulären Kontraktilität bei den 13 invasiv nachuntersuchten Patienten war in 37/101 (37 %) Segmenten und eine Verschlechterung in 3/101 (3 %) Segmenten zu konstatieren.

Die systolische Gesamtfunktion verbesserte sich im Vergleich zum Vorbefund bei 4 Patienten um jeweils eine Stufe, bei den anderen blieb sie unverändert. Einen signifikanten Anstieg der EF um $\geq 0,08$ konnte bei 4 Patienten dokumentiert werden. Der Mittelwert (\pm Standardabweichung) der EF-Änderung im Vergleich zur Untersuchung bei Aufnahme in die Studie lag bei $0,045 \pm 0,073$ (Streubereich $- 0,02$ bis $+ 0,27$). Das Langzeitergebnis der Revaskularisation war bei 6 Patienten gut (≤ 50 %ige Stenose). Die anderen 7 Patienten wiesen eine signifikante (> 50 %ige) Rezidivstenose auf oder hatten eine hochgradige Stenose proximal bzw. distal der ursprünglichen Stenose (Abb. 7).

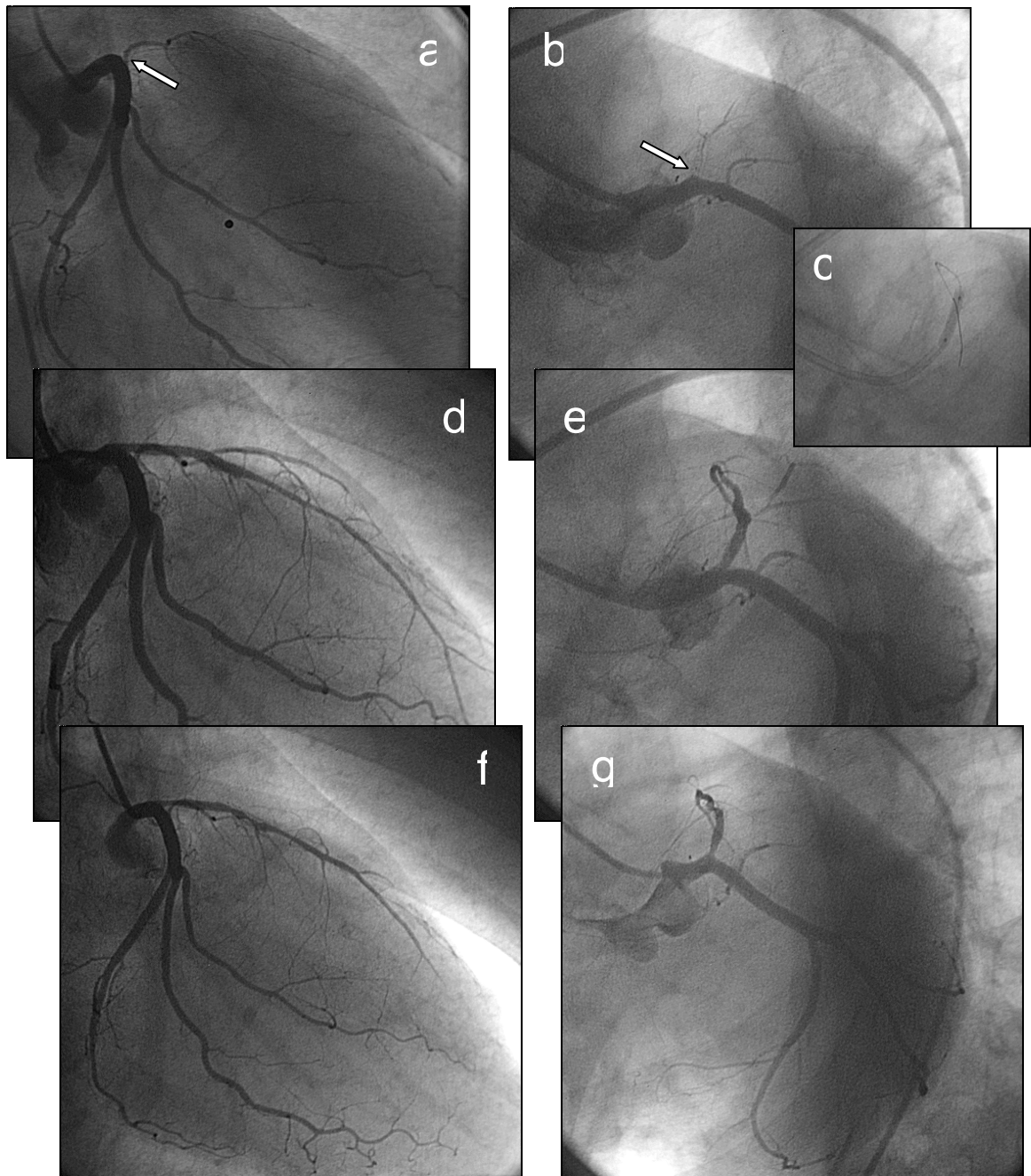


Abb. 7 a – g: Angiographische Darstellung des linken Kranzgefäßes bei einer 59-jährigen Patientin mit Eingefäßerkrankung (Nr. 2). 8 Jahre zuvor Vorderwandinfarkt, 12 Monate zuvor RIVA-PTCA, 6 Monate vorher Stentimplantation bei Restenose, jetzt wieder zunehmende Belastungsangina (a, d, f = RAO-Projektionen; b, c, e, g = kaudokraniale LAO-Projektionen). (a, b) Der RIVA war im Stent im Abgang aus dem Hauptstamm verschlossen (Pfeile). (c) Ballondilatation (d, e) Befriedigendes Interventionsergebnis. (f, g) Erneute höhergradige Restenose des RIVA bei vorzeitiger Wiedervorstellung der Patientin mit Belastungsangina nach weiteren 2 Monaten.

3.2 Ergebnisse der Echokardiographie

Die Kontraktilität der 117/224 stenoseabhängigen Myokardsegmente wurde bei Einschluss in die Studie wie folgt beurteilt (Tab. 8):

- 15/117 (13 %) dyskinetisch,
- 52/117 (44 %) akinetisch,
- 20/117 (17 %) hypokinetisch und
- 30/117 (26 %) normokinetisch.

Bei der echokardiographischen Nachuntersuchung zeigte sich in 33/99 (33 %) linksventrikulären Segmenten eine Kontraktilitätsverbesserung, wobei in 30/33 Segmenten eine Verbesserung um eine Stufe und in 3/33 um 2 Abstufungsgrade zu konstatieren war. Eine Verschlechterung in der Kontraktilität wurde echokardiographisch an insgesamt 17/99 (17 %) Segmenten dokumentiert, wovon allein 9 Segmente mit Kontraktilitätsverschlechterung auf den Patienten Nr. 15 entfielen, der eine invasive Nachuntersuchung zuletzt ablehnte.

Tab. 8: Ergebnisse der Echokardiographie

Pat. Nr.	Gefäß	Regionale Kontraktilität																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	RIVA							2	2				1	0	0	0	0	
2	RIVA	1	1				1	1	1				1	1	1	0	0	
		1	1				1	1	1				1	1	2	1	1	
3	RIVA							1	1				3	3	3	3	3	
								3	3				3	3	3	3	3	
4	RIVA							2	3	2			2	0	1	1	0	
								3	2	2			2	1	2	1	1	
5	RIVA	1	1					1	1				1	0	0	0	0	
		2	1					1	1				1	1	1	1	1	
6	RIVA							1	1			3	3	3	1	1	2	1
								1	1			3	3	3	1	1	1	1
7	RIVA							1	1				1	0	1	1	1	
8	RCA				3	1	1					3	1	3				
					2	2	2					2	2	3				
9	RIVA	3	3				3	3	2			2	2	2	1	1	1	1
		3	3				3	3	3			3	3	3	1	1	1	1
10	RCX			1	2							1	1					
11	RIVA						2	3	3				2	3	3	3	2	
							3	2	3				2	3	3	3	2	
12	RIVA							1	2				1	1	1	1	1	
								1	2				1	2	2	2	0	
13	RIVA							1	1				2	1	1	2	1	
								1	2				1	1	2	1	1	
14	RIVA							2*	2*				3*	1*	1*	0*	0*	
								3	3				3	2	2	2	1	
15	RIVA	3	3					3	3				3	3	3	3	2	
		1	1					1	1				0	0	0	1	0	

1. Zeile Ausgangsbefund, 2. Zeile Nachuntersuchung

vom betroffenen Koronargefäß versorgtes linksventrikuläres Myokardsegment

Gefäß = betroffenes Koronargefäß (**RIVA** = Ramus interventricularis anterior, **RCX** = Ramus circumflexus, **RCA** = rechte Koronararterie), **Pat. Nr.** = Patientennummer, **Regionale Kontraktilität** nach dem 16-Segment-Modell der *American Society of Echocardiography* ⁷⁶ (**3** = normal, **2** = hypokinetisch, **1** = akinetisch, **0** = dyskinetisch), * laevokardiographische Kontraktilitätsbefundung

3.3 Ergebnisse der Thallium-201-Myokardszintigraphie

In den Belastungsaufnahmen wurde eine Thallium-201-Minderbelegung in 98/117 (84 %) betroffenen Myokardsegmenten dokumentiert. Nach Reinjektion waren diese Speicherdefekte im Sinne einer Ischämiereaktion in 20/117 (17 %) Segmenten partiell und in 25/117 (21 %) vollständig reversibel. 53/117 (45 %) betroffene Segmente wiesen auch nach Reinjektion eine konstante Minderbelegung bzw. eher noch eine Reduktion der Aktivitätsbelegung unmittelbar nach Belastung auf. Von diesen 53 Segmenten zeigten 28 keine Traceraufnahme, 9 einen persistierenden Speicherdefekt mit deutlich reduzierter und 12 mit geringgradig reduzierter Tracerakkumulation. Eine reverse „Redistribution“ nach Reinjektion wurde in 4 Segmenten gesehen (siehe Tab. 9 und Abb. 8).

Tab. 9: Ergebnisse der Myokardszintigraphie

Pat. Nr.	Gefäß	Szintigraphie	Regionale TI-201- Aktivitätsbelegung																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	RIVA	Stress							1	1				2	0	0*	0	0	
		Reinjektion							1	1				2	0	0*	1	0	
2	RIVA	Stress	0*	0				1	0*	0*				1	0*	0*	0	0	
		Reinjektion	0*	0				1	0*	0*				1	0*	0*	0	0	
3	RIVA	Stress							1	1				2	2	2	3	2	
		Reinjektion							3	2				3	3	3	3	3	
4	RIVA	Stress							1	1	2			2	0*	0*	0	0*	
		Reinjektion							2	2	3			3	0*	0*	0	0*	
5	RIVA	Stress	0*	0					0	1				1	0*	0*	0*	0*	
		Reinjektion	0*	2					1	2				2	0*	0*	0*	0*	
6	RIVA	Stress							2	2		2	0	1	0*	2	1	0*	
		Reinjektion							3	3		2	1	1	1*	2	0	1*	
7	RIVA	Stress							2*	2*				2*	1*	2	2	1	
		Reinjektion							1*	2*				2*	1*	1	1	1	
8	RCA	Stress				3	1*	1					3	2*	3*				
		Reinjektion				3	2*	1					3	2*	3*				
9	RIVA	Stress	3	3				3	2	3			3	3	3	2	3	3	2
		Reinjektion	3	3				3	2	3			3	3	3	2	3	3	3
10	RCX	Stress			0*	0*						0*	0*						
		Reinjektion			0*	0*						0*	0*						
11	RIVA	Stress						2	2	3				2	0	0	0	0	
		Reinjektion						3	3	3				3	2	2	2	2	
12	RIVA	Stress							1	2				1	0	0	0	0*	
		Reinjektion							2	2				2	0	0	0	0*	
13	RIVA	Stress							2	3				1	2	3	3	2	
		Reinjektion							2	3				1	2	3	3	2	
14	RIVA	Stress							1	2				2	0*	0	0	0	
		Reinjektion							2	3				3	2*	3	3	3	
15	RIVA	Stress	2	2					2	2				2	2	2	3	3	
		Reinjektion	3	3					3	3				3	3	3	3	3	

*	F-18-FDG-Aktivität < 50 % / partieller oder persistierender TI-201-Speicherdefekt
normale TI-201-Akkumulation	F-18-FDG-Aktivität ≥ 50 % / TI-201-Akkumulation normal
völlig reversibel	TI-201-Speicherdefekt
partiell reversibel	TI-201-Speicherdefekt
persistierend	TI-201-Speicherdefekt
reverse Redistribution	TI-201-Speicherdefekt, der sich nach Reinjektion verschlechtert

Gefäß = betroffenes Koronargefäß (**RIVA** = Ramus interventricularis anterior, **RCX** = Ramus circumflexus, **RCA** = rechte Koronararterie), **Pat. Nr.** = Patientennummer, **Regionale TI-201-Aktivitätsbelegung** nach dem 16-Segment-Modell der *American Society of Echocardiography*⁷⁶ (**3** = normal, **2** = gering reduziert, **1** = deutlich reduziert, **0** = keine Aktivitätsbelegung), **Stress** = Untersuchung unter pharmakologischer bzw. ergometrischer Belastung

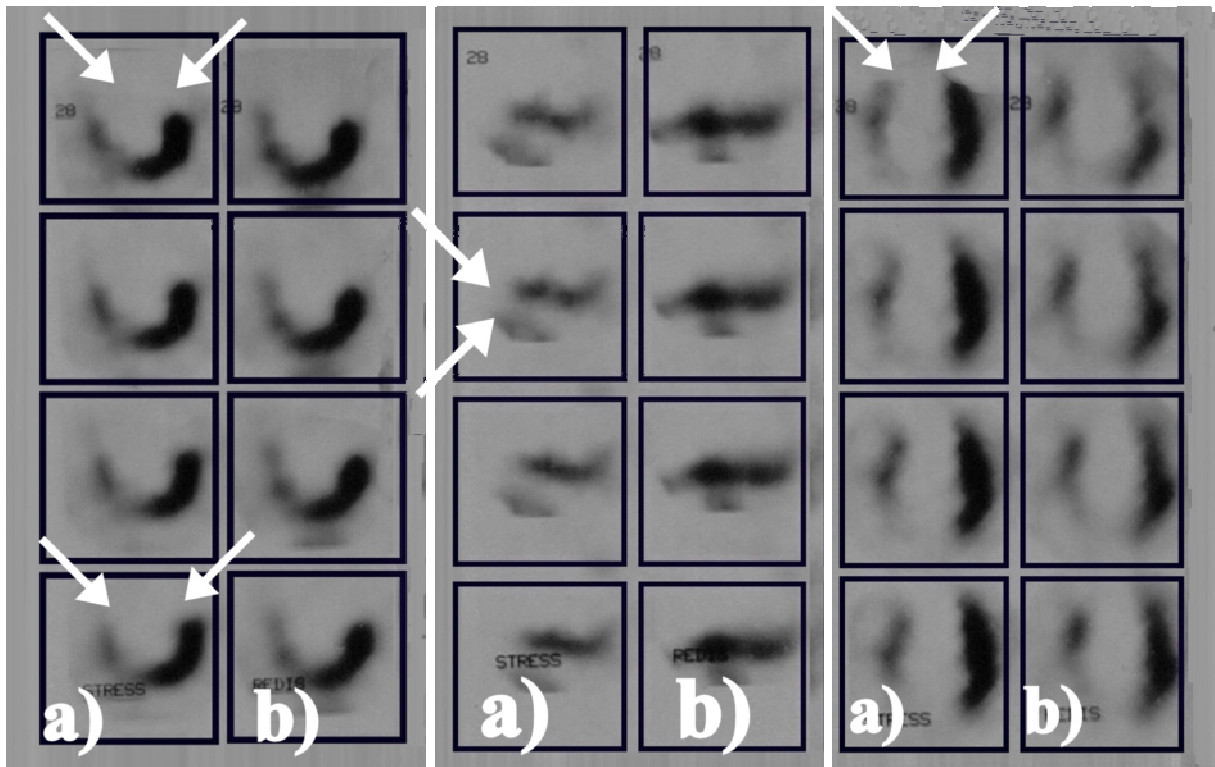


Abb. 8: Thallium-201-Myokardszintigraphie bei derselben Patientin wie in den Abb. 7 und 10, a) Stress, b) Reinjektion nach 4 h. Herzachsenorientierte Schnitte - links koronale Schnitte, Mitte transversale Schnitte, rechts sagittale Schnitte. In der F-18-FDG-PET fanden sich Myokardnarben in den linksventrikulären Segmenten 1, 7, 8, 13, und 14. In der TI-201-SPECT zeigte sich keine Aktivitätsbelegung unter Stress (a) und nach Reinjektion nach 4 h (b) in allen diesen Segmenten und in den Segmenten 2, 15 und 16 (Pfeile). Die von der Koronarstenose betroffenen Myokardsegmente 6 und 12 wiesen in (a) und (b) eine deutlich reduzierte Aktivitätsbelegung auf. Eine leichte Besserung war in den Segmenten 1, 2, 7 und 8 vorzufinden, wo die Aktivitätsbelegung aber dennoch deutlich reduziert war.

3.4 Ergebnisse der Positronen-Emissions-Tomographie

In 88/117 (75 %) stenoseabhängigen Myokardsegmenten konnte eine F-18-FDG-Aktivität von ≥ 50 % des individuellen Maximums der mittleren Impulsrate/Fläche gemessen werden. Diese Segmente wurden als vital angesehen. In den übrigen 29/117 (25 %) Segmenten wurde eine F-18-FDG-Aktivität von weniger als 50 % ermittelt, sodass hier von einer myokardialen Narbe ausgegangen wurde (Abb. 9).

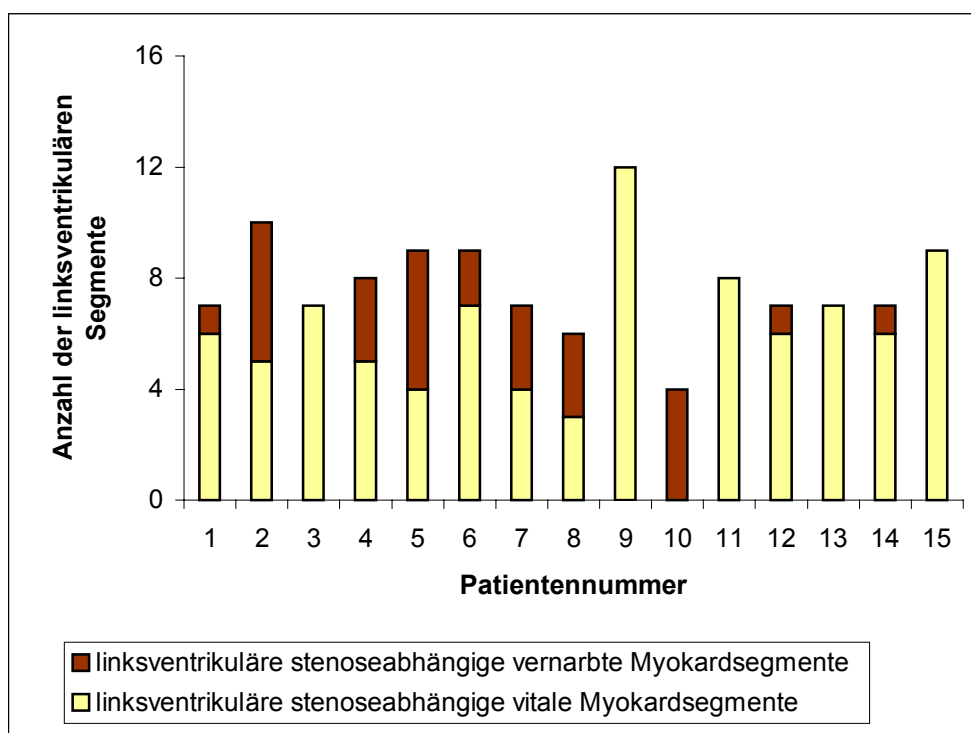


Abb. 9: Darstellung der durch Positronen-Emissions-Tomographie ermittelten stenoseabhängigen Anzahl linksventrikulärer vitaler und vernarbter Myokardsegmente

In Tabelle 10 werden die betroffenen linksventrikulären Segmente der Patienten in Bezug auf das individuelle Maximum der mittleren Impulsrate/Fläche in Prozent wiedergegeben.

Anhand derselben Beispielpatientin wie in Abbildung 7 und 8 wird in Abbildung 10 verdeutlicht, wie in einem apexnahen Schnitt mit noch erkennbarer linksventrikulärer Kavität 4 ROIs, in einem Schnitt durch die Mitte 6 ROIs und in einem Schnitt möglichst nahe der Herzbasis 6 ROIs eingezeichnet wurden.

Tab. 10: Ergebnisse der Positronen-Emissions-Tomographie

Pat. Nr.	Gefäß	Regionale F-18-FDG-Aktivität in [%]																Vitales Myokard in [%]			Myokardnarbe in [%]			Vitalitätsgruppe
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	MW	Min	Max	MW	Min	Max	
1	RIVA						50	66				77	53	48	91	75	68,7	50	91	48,0	48	48	B	
2	RIVA	33	92		67	21	22				68	35	16	88	81	79,2	67	92	25,4	16	35	C		
3	RIVA						82	73			87	93	78	78	79	81,4	73	93				A		
4	RIVA						68	72	93		100	33	33	73	47	81,2	68	100	37,7	33	47	B		
5	RIVA	38	59				51	52			77	17	16	31	32	59,8	51	77	26,8	16	38	C		
6	RIVA						88	72		96	78	88	47	68	62	78,9	62	96	43,5	40	47	B		
7	RIVA						42	47			45	46	60	59	64	61,0	59	64	45,0	42	47	C		
8	RCA						87	18	51		91	38	36			76,3	91	51	30,7	18	38	B		
9	RIVA	89	58				93	100	67		77	81	93	88	70	84	81,0	58	100				A	
10	RCX									22	23								26,5	14	47	C		
11	RIVA						70	88	85		79	82	91	51	65	76,4	51	88				A		
12	RIVA						77	54			79	69	55	69	39	67,2	54	79	39,0	39	39	B		
13	RIVA						70	71			70	55	67	73	66	67,4	55	73				A		
14	RIVA						66	93			71	44	64	70	50	69,0	50	93	44,0	44	44	B		
15	RIVA	87	97				91	89			96	84	85	78	76	87,0	76	96				A		

vitales Myokard F-18-FDG-Aktivität ≥ 50 %

Myokardnarbe F-18-FDG-Aktivität < 50 %

Gefäß = betroffenes Koronargefäß (**RIVA** = Ramus interventricularis anterior, **RCX** = Ramus circumflexus, **RCA** = rechte Koronararterie), **Max** = Maximum, **Min** = Minimum, **MW** = Mittelwert, **Pat. Nr.** = Patientennummer, **Regionale F-18-FDG-Aktivität** = Fluor-18-Desoxyglucose-Belegung nach dem 16-Segment-Modell der American Society of Echocardiography,⁷⁶ **Vitalitätsgruppe** = Klassifizierung der Patienten nach dem Anteil der Narbensegmente (**A** = keine Narbe, **B** = 1-3 vernarbte Myokardsegmente, **C** = ≥ 4 vernarbte Myokardsegmente)

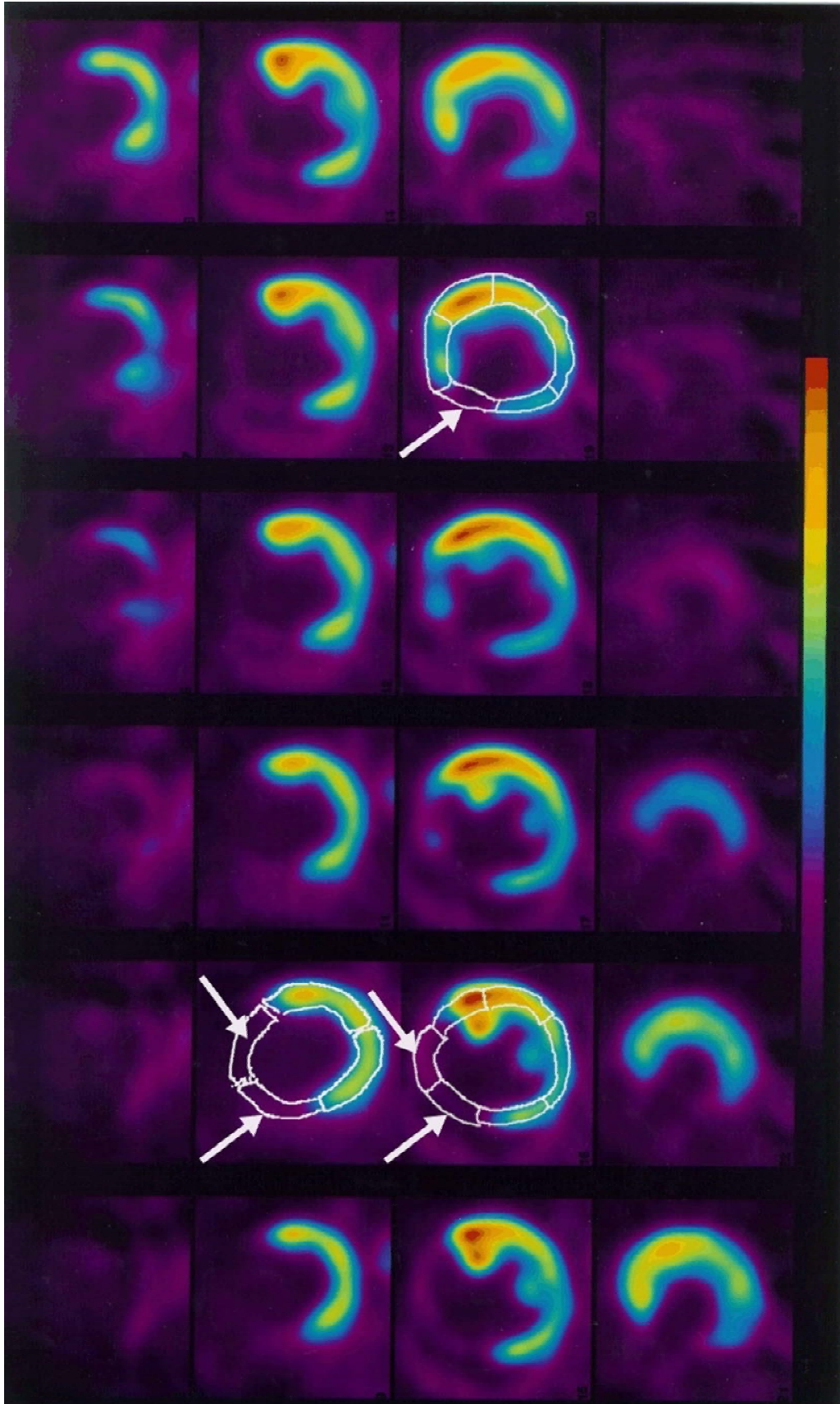


Abb. 10: F-18-FDG-PET bei einer 59-jährigen Patientin nach altem Vorderwandinfarkt und erneutem proximalem RIVA-Verschluss bei Einschluss in die Studie. Kurzachsenschnitt von apikal nach basal. Bei der quantitativen Analyse zeigte sich vitales Myokard in den betroffenen Segmenten 2, 6, 12, 15, 16 und eine Myokardnarbe in den Segmenten 1, 7, 8, 13, 14 (Pfeile).

3.5 Kombination der angiographischen, echokardiographischen, szintigraphischen und positronen-emissions-tomographischen Befunde

3.5.1 Regionale myokardiale Vitalität

Von den 88/117 (75 %) stenoseabhängigen, aber vitalen Myokardsegmenten zeigten 10/117 (9 %) normales Myokard mit normaler Kontraktilität und Perfusion. Weiterhin präsentierten sich von den vitalen Myokardsegmenten insgesamt 19/117 (16 %) als ischämisch, 33/117 (28 %) als *stunned myocardium* und 26/117 (22 %) Segmente als *hibernating myocardium*. 29/117 (25 %) Segmente stellten sich als Myokardnarbe dar (Tab. 11).

3.5.2 Kombination der Ergebnisse der echokardiographischen Nachuntersuchung mit den Vitalitätsbefunden der Positronen-Emissions-Tomographie

Die regionale linksventrikuläre Kontraktilität bei den echokardiographisch nachuntersuchten Patienten zeigte initial in den mit der Positronen-Emissions-Tomographie ermittelten vitalen Segmenten folgende Ergebnisse:

- in 29/79 (37 %) Segmenten Normokinesien,
- in 17/79 (22 %) Segmenten Hypokinesien,
- in 29/79 (37 %) Segmenten Akinesien und
- in 4/79 (5 %) Segmenten Dyskinesien.

In der Nachuntersuchung zeigte sich eine Änderung von einer Dyskinesie in eine Akinesie bzw. Hypokinesie in 4 Segmenten. Eine Funktionsverbesserung von einer Akinesie zu einer Hypo- bzw. Normokinesie war in 9 und von einer Hypokinesie in eine Normokinesie in 8 linksventrikulären Myokardsegmenten erkennbar.

Die Segmente, die sich in der Positronen-Emissions-Tomographie als Narbe erwiesen, zeigten folgende Befunde:

- 6/20 (30 %) Segmente Dyskinesien,
- 13/20 (65 %) Segmente Akinesien,
- 0/20 (0 %) Segmente Hypokinesien und
- 1/20 (5 %) Segment Normokinesie.

Tab. 11: Myokardcharakterisierung anhand der Bestimmung der Kontraktilität bei der Echokardiographie, der Perfusion mittels Szintigraphie und der Glucoseutilisation durch Positronen-Emissions-Tomographie

Pat. Nr.	Gefäß	Linksventrikuläre Wandsegmente *																Vitalitätsgruppe
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	RIVA																	B
2	RIVA																	C
3	RIVA																	A
4	RIVA																	B
5	RIVA																	C
6	RIVA																	B
7	RIVA																	C
8	RCA																	B
9	RIVA																	A
10	RCX																	C
11	RIVA																	A
12	RIVA																	B
13	RIVA																	A
14	RIVA																	B
15	RIVA																	A

normales Myokard
ischämie
stunned myocardium
hibernating myocardium
Myokardnarbe

wenn FDG-Akkumulation $\geq 50\%$ und Wandbewegung = 3 und TI-201 $\Delta \leq 0$ und mindestens eine Akkumulation ≥ 2

wenn FDG-Akkumulation $\geq 50\%$ und Wandbewegung = 3 und TI-201 $\Delta > 0$ oder mindestens eine Akkumulation < 2

wenn FDG-Akkumulation $\geq 50\%$ und Wandbewegung < 3 und TI-201 $\Delta > 0$ oder maximale Akkumulation = 3

wenn FDG-Akkumulation $\geq 50\%$ und Wandbewegung < 3 und TI-201 $\Delta \leq 0$ und maximale Akkumulation < 3

wenn FDG-Akkumulation $< 50\%$

Gefäß = betroffenes Koronargefäß (**RIVA** = Ramus interventricularis anterior, **RCX** = Ramus circumflexus, **RCA** = rechte Koronararterie), **Linksventrikuläre Wandsegmente** * = nach dem 16-Segment-Modell der *American Society of Echocardiography*⁷⁶, **Pat. Nr.** = Patientennummer, **Vitalitätsgruppe** = Klassifizierung der Patienten nach dem Anteil der Narbensegmente (**A** = keine Narbe, **B** = 1-3 vernarbte Myokardsegmente, **C** = ≥ 4 vernarbte Myokardsegmente)

In 6/20 (30 %) Segmenten veränderte sich die regionale Kontraktilität von einer Dyskinesie zu einer Akinesie und in 6 (30 %) von einer Akinesie zu einer Hypokinesie.

3.5.3 Kombination der Ergebnisse der Thallium-201-SPECT mit den Ergebnissen der Positronen-Emissions-Tomographie

Alle Myokardsegmente, die eine normale TI-201-Aktivitätsbelegung oder einen völlig reversiblen Speicherdefekt aufwiesen, sind auch in der Positronen-Emissions-Tomographie als vital klassifiziert worden. Von den 29/117 (25 %) in der PET als Narbe eingeordneten Segmenten zeigten 23/29 (79 %) einen persistierenden Speicherdefekt, 4/29 (14 %) einen partiell reversiblen Speicherdefekt, 1/29 (3 %) eine Verschlechterung nach Reinjektion und 1/29 (3 %) eine reverse „Redistribution“. Zusätzlich zu den 29 Segmenten wiesen noch weitere 26/117 (22 %) einen persistierenden Speicherdefekt im Sinne eines *perfusion-metabolism mismatch* auf.

3.6 Ergebnisse der Magnetokardiographie

Tabelle 12 listet als Beispiel die magnetokardiographischen Messdaten von Patientin 2 auf.

Anhand der Ergebnisse der Positronen-Emissions-Tomographie wurden die Patienten entsprechend der Anzahl vernarbter Myokardsegmente in Vitalitätsgruppen eingeteilt (vgl. 2.6.2 Auswertung der Positronen-Emissions-Tomographie sowie Tabelle 10).

Daraus resultierte folgende Zuordnung der Patienten zu den Vitalitätsgruppen:

- Vital – Patient 3, 9, 11, 13, 15,
- Intermediär – Patient 1, 4, 6, 8, 12, 14,
- Narbe – Patient 2, 5, 7, 10.

Tab. 12: Magnetokardiographische Messdaten am Beispiel von Patientin Nr. 2

1 Pat_#:	2	51 QTmax:	290
2 Pat_code:	0	52 QToffset:	407
3 Inrs0111	0	53 QUmax:	565
4 n_files:	5	54 QUoffset:	765
5 n_file:	1	55 TmaxUmax:	275
6 status	0	56 QRShvw:	95
7 n_beats:	10	57 Thvw:	196
8 n_extrsys	0	58 IntQRS:	1859,6
9 remark	0	59 IntQTmax:	2483,05
10 av_rate:	61,74	60 IntQToffset:	2763,07
11 P_onset:	32	61 IntQUoffset:	2940,75
12 x_Pmax:	126	62 IntSTmax:	628,112
13 x_Pmin	60	63 IntSToffset:	908,132
14 P_offset:	128	64 IntToffUoff	178,25
15 Q_onset:	262	65 a_Rmx/Tmn	4,98685
16 x_Rmax:	301	66 a_Tmn/Tmx	0,609669
17 x_Rmin:	334	67 a_Umx/Tmx	0,165666
18 x_IRmax	-1	68 a_ST/Tmx	0,852451
19 x_IRmin	-1	69 a_IRx/Rx	0
20 x_Rmaxt:	301	70 a_rRx/Rx	0,91925
21 x_rRmin	316	71 a_IRn/IRx	0
22 x_rRmax	330	72 a_IRn/Rx	0
23 S_offset:	406	73 a_rRn/rRx	0,487682
24 x_ST:	454	74 a_rRn/Rx	0,448301
25 T_onset:	484	75 no	0
26 x_Tmaxp	535	76 no	0
27 x_Tmin	564	77 no	0
28 x_Tmaxt	552	78 no	0
29 x_Toffsetp	669	79 no	0
30 x_Toffsetm	614	80 no	0
31 x_Umax:	827	81 no	0
32 U_offset:	1027	82 no	0
33 aref	15,2845	83 no	0
34 a_Pmax:	0,942479	84 no	0
35 a_Pmin:	-2,44498	85 no	0
36 a_Rmax:	17,288	86 no	0
37 a_Rmin:	-21,695	87 no	0
38 a_IRmax	0	88 no	0
39 a_IRmin	0	89 no	0
40 a_Rmaxt:	24,0655	90 no	0
41 a_rRmin	10,7886	91 no	0
42 a_rRmax	22,1222	92 no	0
43 a_ST:	4,11374	93 no	0
44 a_Tmaxp	3,12519	94 no	0
45 a_Tmin	-1,90533	95 no	0
46 a_Tmaxt	4,82578	96 no	0
47 a_Umax:	0,799468	97 no	0
48 PQ:	230	98 no	0
49 QR:	39	99 no	0
50 QRS:	144	100 no	0

Die nachfolgenden Abbildungen 11 a-c zeigen jeweils (aus allen 49 Messkanälen) superpositionierte gemittelte repräsentative Einzelschläge eines Patienten mit mehr als 4 linksventrikulären Narbensegmenten (Pat. 2), mit weniger als 4 Narbensegmenten (Pat. 8) und mit nur vitalem Myokardgewebe (Pat. 11). Die Signalamplituden sind normiert bezogen auf den Mittelwert der Absolutwerte aller MKG-Daten über alle Kanäle.

Weiterhin werden von den gemittelten repräsentativen Einzelschlägen für dieselben Patienten wie in Abb. 11 folgende Kurven wiedergegeben (Abb. 12 a-c):

- violette Kurve - jeweils maximale Amplitude aus allen 49 Kanälen,
- blaue Kurve - jeweils minimale Amplitude aus allen 49 Kanälen und
- schwarze Kurve - Summe der Absolutwerte beider Extremkurven.

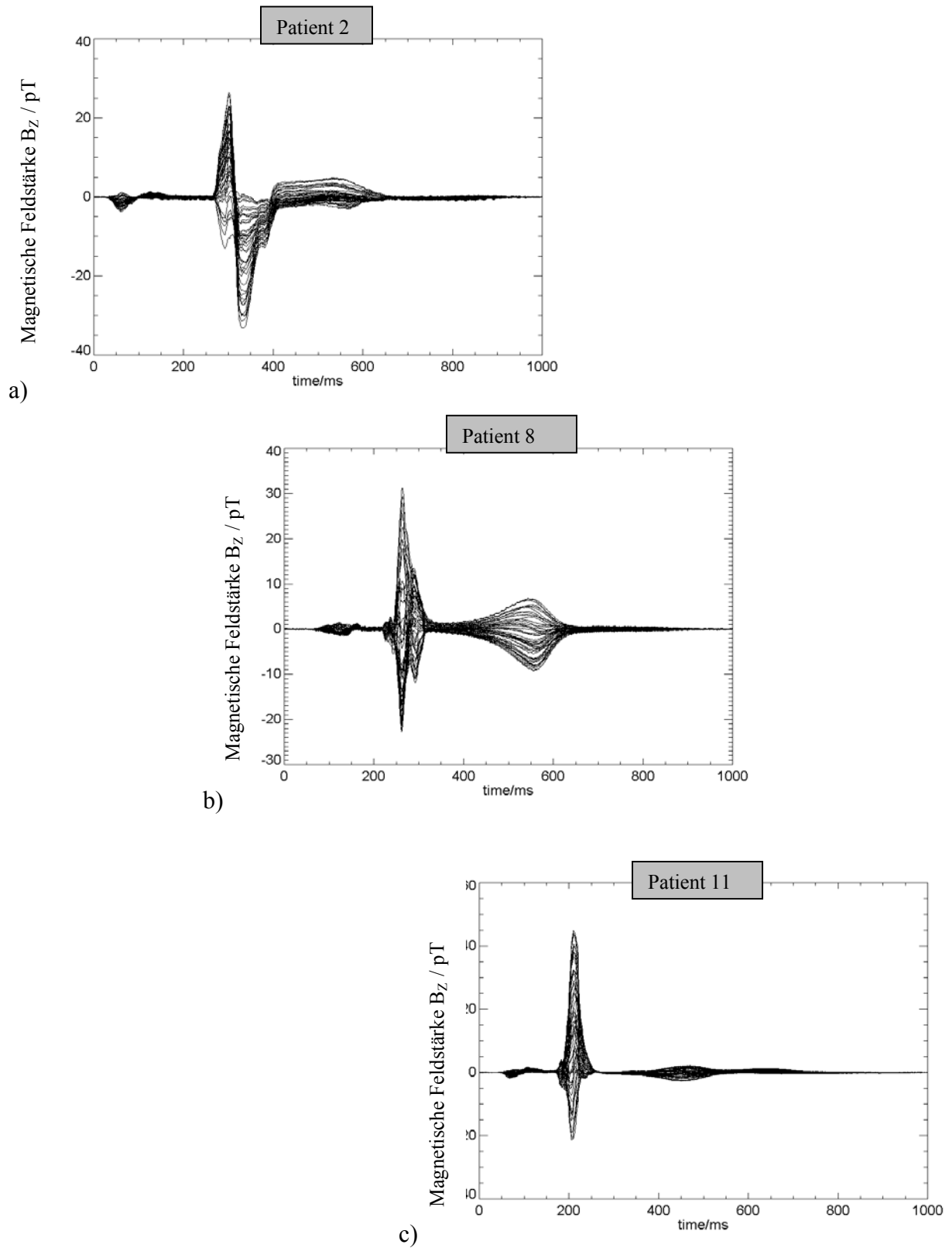


Abb. 11 a-c: Darstellung superpositionierter repräsentativer Einzelschläge a) bei Patientin Nr. 2 aus Vitalitätsgruppe C, b) bei Patient Nr. 8 aus Vitalitätsgruppe B, c) bei Patientin Nr. 11 aus Vitalitätsgruppe A.

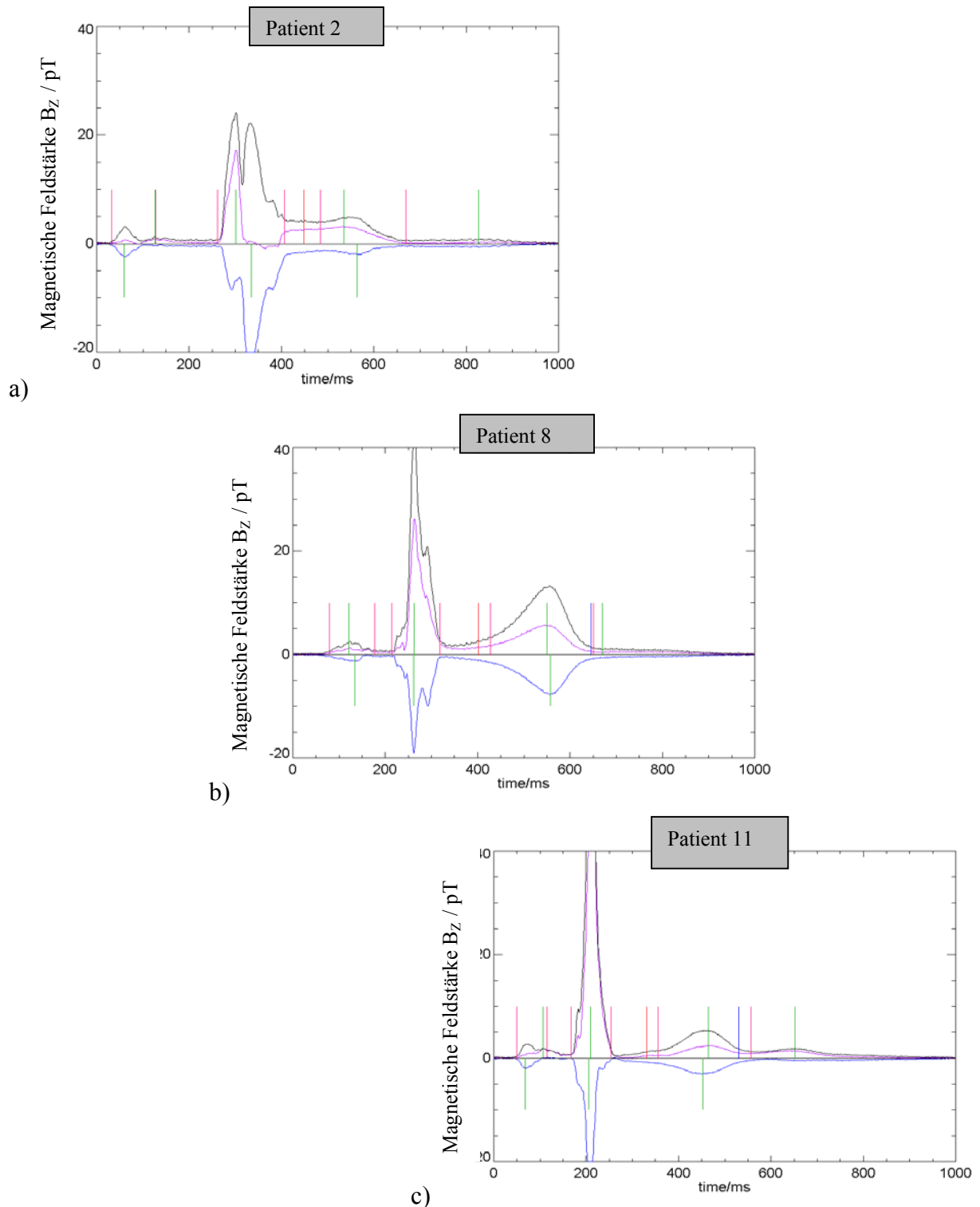


Abb. 12 a-c: Darstellung repräsentativer Einzelschläge bei denselben Patienten wie in Abb. 11; **violette Kurve** – Maximalwertkurve; **blaue Kurve** - Minimalwertkurve; schwarze Kurve – Summenkurve aus den Absolutwerten beider Kurven; durch vertikale Linien wurden die Hauptwerte Ponset, Pmax, Pmin, Poffset, Qonset, Rmax, Rmin, Soffset, ST, Tonset, Rmax, Tmin, Toffset und Umax markiert; a) bei Patientin Nr. 2; b) bei Patient Nr. 8; c) bei Patientin Nr. 11

Mit der Diskriminanzanalyse wurden durch Vorwärtseinschluss ($p < 0,10$) die ersten 3 magnetokardiographischen Parameter mit der besten Trennfähigkeit ermittelt:

- $a_R \text{ max}$ = **Maximalamplitude der R-Zacke** für die Maximalwertkurve aller 49 Kanäle
(Wilks'sches $\lambda = 0,423521$)
- $a_T \text{ max}$ = **Maximalamplitude der T-Welle** in der Maximalwertkurve aller 49 Kanäle
(Wilks'sches $\lambda = 0,149167$)
- $a_T \text{ min}$ = **Minimalamplitude der T-Welle** in der Minimalwertkurve aller 49 Kanäle
(Wilks'sches $\lambda = 0,079354$)

Für die 3 Vitalitätsgruppen ergaben sich damit die folgenden 2 kanonischen Diskriminanzfunktionen $(f_{S1}, f_{S2})^T$:

$$\begin{pmatrix} f_{S1} \\ f_{S2} \end{pmatrix} (p_1, p_2, p_3) = \begin{pmatrix} 0,166 & 0,641 & 0,067 \\ 0,018 & -0,001 & 0,814 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -6,613 \\ 2,451 \end{pmatrix}$$

$p_1, p_2, p_3 = \text{Merkmalsvariablen}$

$p_1 = a_R \text{ max}, \quad p_2 = a_T \text{ max}, \quad p_3 = a_T \text{ min}$

In Tabelle 13 wurden für alle Patienten die magnetokardiographischen Messwerte für die ersten 3 Parameter wiedergegeben, die bei der Vorwärtsselektion zu einer signifikanten Verkleinerung des Wilks'schen λ führten.

Tab. 13: Magnetokardiographische Messwerte für die 3 Parameter zur Klassifikation der Patienten hinsichtlich der Vitalitätsgruppen A - C

Vitalitätsgruppen	Pat. Nr.	Magnetokardiographische Parameter		
		a Rmax	a Tmax	a Tmin
Gruppe A Vital	3	23,3083	8,49047	-4,91245
	9	34,1478	6,83371	-3,81713
	11	49,8683	2,36726	-2,95808
	13	35,5767	7,06983	-3,05250
	15	20,9026	9,21442	-2,53785
Gruppe B Intermediär	1	21,3665	4,86788	-2,58928
	4	15,4159	4,07896	-4,30857
	6	11,5816	3,92845	-4,41307
	8	26,1827	5,56920	-7,51175
	12	9,9020	7,15751	-3,97615
	14	15,1520	3,48788	-4,47128
Gruppe C Narbe	2	17,2880	3,12519	-1,90533
	5	11,0420	2,27715	-2,92665
	7	11,5056	4,82285	-1,66187
	10	15,1529	4,53503	-1,22573

Abb. 13 stellt die kanonischen Scores aller Studienteilnehmer graphisch dar. Die Scores ergeben sich durch Einsetzen der Messwerte für die Merkmalsvariablen in die beiden kanonischen Diskriminanzfunktionen, wobei die erste Funktion den Score 1 und die zweite den Score 2 ergibt.

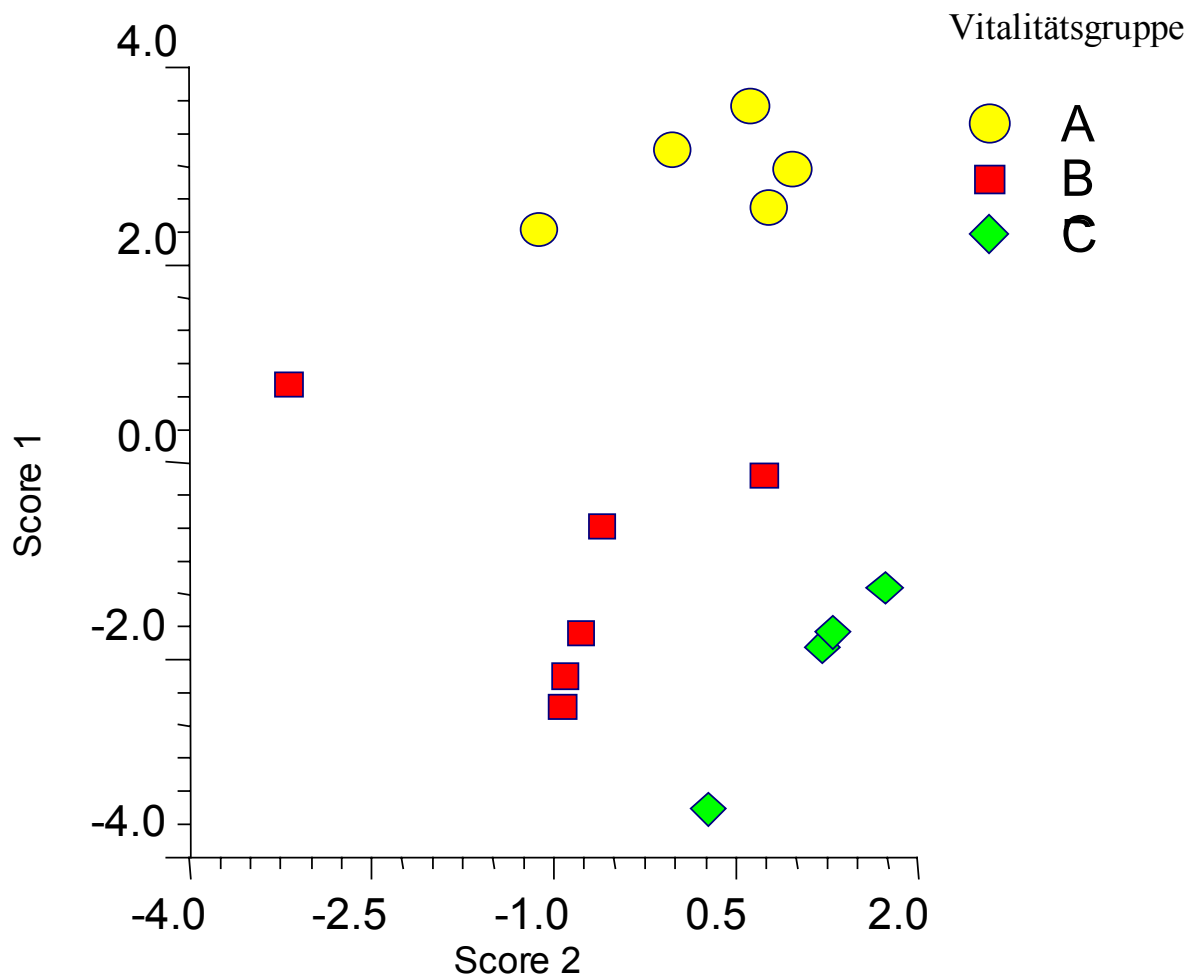


Abb. 13: Graphische Darstellung der kanonischen Diskriminanz-Scores der Patienten

A nur vitale linksventrikuläre Myokardsegmente

B 1-3 linksventrikuläre Narbensegmente

C ≥ 4 linksventrikuläre Narbensegmente

Beide Diskriminanzfunktionen tragen signifikant zur Trennung der Gruppen bei. Erstere mit einem Eigenwertanteil von 86,3 % und die Zweite mit einem Eigenwertanteil von 13,7 %. Dieses Ergebnis wird auch durch den Wilks'schen λ Wert von 0,079 bestätigt.

Eigenwerte:

Funktion	Eigenwert	% der Varianz	Kumulierte %
1	5,638	86,3	86,3
2	0,898	13,7	100,0

Die ersten 2 kanonischen Diskriminanzfunktionen wurden in der Analyse verwendet.

Wilks' Lambda

Test der Funktionen	Wilks' Lambda	Chi-Quadrat	df	Signifikanz
1 bis 2	0,079	27,872	6	0,000
2	0,527	7,051	2	0,029

Nachdem die kanonischen Diskriminanzfunktionen (Trennfunktionen) ermittelt worden waren, wurde überprüft, inwieweit die Patienten mithilfe der linearen Fisherschen Diskriminanzfunktionen hinsichtlich der Vitalitätsgruppen korrekt klassifiziert werden konnten.⁸⁸

Lineare Fishersche Diskriminanzfunktionen $(f_1, f_2, f_3)^T$:

$$\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} (p_1, p_2, p_3) = \begin{pmatrix} 1.5230 & 6.2847 & -1.1190 \\ 0.8371 & 3.7216 & -2.3510 \\ 0.7029 & 3.0529 & -0.7281 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -48.2330 \\ -21.3125 \\ -11.1664 \end{pmatrix} .$$

Dabei entspricht die erste Zeile des Gleichungssystems Vitalitätsgruppe (A) Vital, die zweite der Gruppe (B) Intermediär und die dritte der Gruppe (C) Narbe. Mit den magnetokardiographischen Messdaten eines jeden Patienten wurden nun mithilfe der Fisherschen Diskriminanzfunktion für jeden Patienten neue Scores (1, 2 und 3) errechnet und die Patienten der Vitalitätsgruppe zugeordnet, bei der der Score den höchsten Wert annahm.

Alle Patienten wurden retrospektiv in die richtige Gruppe eingeordnet: 5 Patienten in die Gruppe A, 6 Patienten in die Gruppe B und 4 Patienten in die Gruppe C (Tab. 14).

Tab. 14: Klassifikation der einzelnen Patienten durch die Fisherschen Diskriminanzfunktionen hinsichtlich der einzelnen Vitalitätsgruppen

Vitalitätsgruppe	Klassifizierung zur Gruppe			Σ
	A	B	C	
A ^a	5 Patienten	0 Patienten	0 Patienten	5 Patienten
B ^b	0 Patienten	6 Patienten	0 Patienten	6 Patienten
C ^c	0 Patienten	0 Patienten	4 Patienten	4 Patienten
Σ	5 Patienten	6 Patienten	4 Patienten	15 Patienten

^a nur vitale linksventrikuläre Myokardsegmente

^b 1-3 linksventrikuläre Narbensegmente

^c \geq 4 linksventrikuläre Narbensegmente