

Dopplersonographische Untersuchungen an der Arteria carotis communis bei Kardiopathien des Pferdes

Robert R. Schmitz und Arthur Grabner

Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin

Zusammenfassung

77 Pferde wurden einer umfassenden kardiologischen Untersuchung und einer Untersuchung der Blutflüsse an der Arteria carotis communis unterzogen. Es stellte sich heraus, dass die Hämodynamik der Blutflüsse an den Carotiden sehr sensibel auf kardiale Einflüsse reagiert. Die gemessenen Parameter veränderten sich in charakteristischer Weise bei den verschiedenen Herzerkrankungen. So konnten bei Pferden mit Aortenklappeninsuffizienzen mit Dilatation der Herzkammern ($n=12$) und ohne Dilatation der Herzkammern ($n=10$) eine Erhöhung der systolischen Spitzengeschwindigkeit (SPV), der retrograden diastolischen Flüsse (rDPV) und der Pulsatilitätsindices PI, RI und S/D im Vergleich zu der Gruppe der gesunden Pferde ($n=16$) festgestellt werden. Die Pferde mit Mitralklappeninsuffizienz mit ($n=10$) und ohne ($n=9$) Dilatation des linken Vorhofs zeigten hingegen eine Erniedrigung der systolischen Spitzengeschwindigkeit (SPV) und Beschleunigung der systolischen A-Welle (αA). Mit Ausnahme der Gruppe der Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation des linken Ventrikels konnte eine signifikante Erniedrigung der Blutflussvolumina pro Zeiteinheit bei den herzkranken Pferden im Vergleich zu den Kontrollen nachgewiesen werden. Des Weiteren wurden charakteristische Veränderungen der Blutflüsse beim Vorhofflimmern ($n=7$), bei dilatativer Kardiomyopathie ($n=6$), Endocarditis valvularis ($n=5$), AV-Block 3. Grades ($n=1$) und Ventrikelseptumdefekt ($n=1$) gefunden, welche einer deskriptiven Betrachtung unterzogen wurden. Es konnte gezeigt werden, dass bei steigendem Schweregrad einer Herzerkrankung die Veränderungen an den Blutflüssen der Carotis umso ausgeprägter erscheinen. Die vorgestellten Erhebungen an einem umfassenden Probendgut bestätigen diese angiologische Diagnostikmethode als probat im Sinne einer additiven Untersuchung zur näheren Definierung des Schweregrades einer Herzerkrankung.

Schlüsselwörter: Arteria carotis communis, Pferd, Doppler, Herzerkrankung, Spektralanalyse, Kardiologie

Doppler sonographic examination of the common carotid artery in horses with heart disease

77 horses underwent a detailed echocardiographic and a Doppler sonographic examination of the right common carotid artery (CCA). 57 horses were divided into 5 groups: horses without heart disease ($n=16$), horses with aortic valve insufficiency with dilatation of the left ventricle ($n=12$), horses with aortic valve insufficiency without dilatation of the left ventricle ($n=10$), horses with mitral valve insufficiency with ($n=10$) and without ($n=9$) dilatation of the left atrium. Another 19 horses with heart disease had an echocardiographic examination and a sonographic examination of the CCA and a descriptive analysis of the findings at the CCA has been performed: horses with atrial fibrillation ($n=7$), horses with dilatative cardiomyopathy ($n=6$), horses with endocarditis valvularis of the aortic valve ($n=5$), a horse with third degree atrioventricular block ($n=1$) and a horse with a ventricular septal defect ($n=1$). In horses with aortic insufficiency a raise in the systolic peak velocity (SPV), retrograde diastolic velocity (rDPV) and the indices PI (pulsatility index), RI (resistive index) and S/D (Systole/Diastole Ratio) could be observed. The horses with mitral valve insufficiency showed a decrease of the SPV and acceleration of the A-wave (αA) of the blood flow in the common carotid artery. In all groups of horses with heart disease, with exception of the group with aortic insufficiency without dilatation of the left ventricle, a significant decrease in the calculated blood flow volume of the carotid artery was found. Changes in blood flow characteristics of the CCA proved to be increasing with higher severity of cardiac disease. The interrogation of the common carotid artery in horses with heart disease proves to be a reliable additional diagnostic tool in defining the severity of heart disease.

Keywords: carotid artery, horse, Doppler, heart disease, spectral analysis, cardiology

Einleitung

Die angiologische Sonographie hat in vielen Bereichen der Medizin eine herausragende Bedeutung. So ist sie aus der Diagnostik der Arteriosklerose, aus der Thrombosedagnostik und aus der Obstetrik nicht mehr wegzudenken. Beim Pferd beschränken sich die dopplersonographischen Untersuchungen arterieller Gefäße auf einige wenige Berichte, als Routine-diagnostikum wird diese Methode jedoch kaum angewendet.

So werden Blutflüsse an den Gliedmaßenarterien bei physiologischen (Senn 1994) und pathologischen Zuständen (Warmerdam 1998) beschrieben. Oltmanns (2007) berichtet über die quantitativen Veränderungen der Nierenflüsse bei ver-

schiedenen pathologischen Zuständen. Senn (1994) und Cipone (1997) erarbeiten physiologische Werte der quantitativen Spektraldoppleranalyse der Blutflüsse der Arteria carotis communis des gesunden Pferdes. Schmucker (1997) untersucht den Einfluss der Narkose und Lagerung auf die Hämodynamik kopfversorgender Arterien. Auch die Einflüsse pulmonaler Vitien auf die rheologischen Verhältnisse an der Arteria carotis communis wurden untersucht, jedoch an einer kleinen Gruppe mit wenig aussagekräftigen Ergebnissen (Mense 2007).

Die diagnostischen Möglichkeiten bei Erkrankungen von Herz und Kreislauf beim Pferd konzentrieren sich neben der klinischen und elektrokardiographischen Untersuchung in den

letzten Jahren besonders auf die Echokardiographie als nicht-invasive bildgebende Methode. Störungen der Hämodynamik werden jedoch durch echokardiographische Parameter nur bedingt quantitativ erfasst. So kann zum Beispiel eine Insuffizienz mit turbulentem Charakter an der Aortenklappe hinsichtlich des regurgitierten Blutvolumens nur schwer quantifiziert werden.

Hämodynamische Abläufe können durch die unterschiedlichen Methoden der Doppler-sonographie an großen herznahen Gefäßen studiert werden, wobei sich die Karotiden als leicht zugängliche Gefäße und wegen der geringen Messtiefe besonders eignen.

Die ersten Beschreibungen der kardialen Einflüsse auf die Hämodynamik der Arteria carotis communis beim Pferd erfolgten durch *Schmitz* (2000) an einem relativ kleinen Probandengut. Gleichzeitig stellte er fest, dass die Untersuchungsergebnisse unter anderem stark abhängig von der Lokalisation im Verlauf des Gefäßes sind und schlägt den Messpunkt unmittelbar vor dem Brusteingang als geeignet vor.

Material und Methode

Zur Untersuchung kamen Warmblutpferde, Traber und Vollblüter (n=77). Die Probanden wurden anhand verschiedener Kriterien in fünf Gruppen unterteilt: Pferde ohne Herzgeräusche und ohne echokardiographische Befunde (n=16), Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation des linken Ventrikels (n=12), Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation des linken Ventrikels (n=10), Pferde mit Mitralklappeninsuffizienz (n=10) mit Dilatation des linken Atriums und Pferde mit Mitralklappeninsuffizienz (n=9) ohne Dilatation des linken Atriums. Weitere Pferde mit Vorhofflimmern (n=7), dilatativer Kardiomyopathie (n=6), Endocarditis valvularis (n=5), AV-Block 3. Grades (n=1) und Ventrikelseptumdefekt (n=1) wurden einer ausführlichen echokardiographischen und sonographischen Untersuchung der A. carotis unterzogen. Ihre Besprechung erfolgt deskriptiv.

Um die unterschiedlichen Veränderungen an den Blutflüssen der ACC aufgrund einer Herzerkrankung darzustellen, wurde die Gruppeneinteilung der Pferde mit kardiologischen Befunden in der Annahme unternommen, dass jede Herzerkrankung verschieden in Bezug auf Veränderungen der Herzmaße, Zustand der Herzklappen und hämodynamischen Veränderungen der Blutflüsse ist. Da offensichtlich das linke Herz die Morphologie der Blutflüsse bestimmt, wurde eine erste Einteilung in Pferde mit Aortenklappeninsuffizienzen und Pferde mit Mitralklappeninsuffizienzen unternommen. Bei Mehrfachinsuffizienzen erfolgte die Bestimmung der Gruppenzugehörigkeit anhand der primär betroffenen Klappe. Der Schweregrad einer Insuffizienz wurde dabei nach den bewährten Methoden (*Long* 1990, *Weinberger* 1991, *Stadler* et al. 1992, *Kroker* 1994, *Höch* 1995, *Radü* 1995, *Stadler* et al. 1995B, *Gehlen* et al. 1998A,B) der echokardiographischen Klassifizierung von Rückflüssen in physiologische Regurgitationen und geringgradige, mittelgradige und hochgradige Insuffizienzen, bestimmt. Die weitere Unterteilung der Gruppen erfolgte anhand des Vorhandenseins morphologischer Veränderungen, in diesem Falle Dilatationen des linken Ven-

trikels und/oder linken Atriums, da man bei Vergrößerungen der Herzkammern infolge einer Klappeninsuffizienz von einem höheren Schweregrad der Herzerkrankung ausgehen muss. Probanden mit Verletzungen oder Entzündungen im Kopf- und Halsbereich, neurologischen Befunden, Erkrankungen der unteren Atemwege und Anämien wurden von den Untersuchungen ausgeschlossen.

Alle sonographischen Untersuchungen wurden mit einem Farbdoppler-Ultraschallgerät SystemFive der Firma GE durchgeführt. Zur echokardiographischen Untersuchung wurde ein elektronischer 2,5 MHz Annular Phased Array Schallkopf mit einer maximalen Eindringtiefe von 30 cm und einem maximalen Sektorwinkel von 90° verwendet. Zur angiologischen Untersuchung diente ein linearer 10 MHz Schallkopf. Die Untersuchungen wurden jeweils im echokardiographischen und angiologischen Programm durchgeführt und nachträglich aus den elektronisch gespeicherten Rohdaten ausgewertet. Lediglich die Parameter TAV (time averaged velocity), TAVs (systolic time averaged velocity) und TAVd (diastolic time averaged velocity) wurden wegen der direkten Ermittlung aus dem Arbeitsspeicher des Rechners während der Untersuchung ausgewertet. Sie wurden ebenfalls digital gespeichert.

Die Herzultraschalluntersuchungen erfolgten aus dem rechten und linken echokardiographischen Fenster nach einem einheitlichen Schema im B-Mode, M-Mode, 2D-Farbdoppler, Continuous-Wave Doppler CW und gepulsten Doppler PW (HPRF, LPRF). Die echokardiographische Untersuchung orientierte sich streng nach den international aufgestellten Standards (*Carlsten* 1987, *Stadler* 1988B, *Reef* et al. 1989, *Long* et al. 1992, *Stadler* et al. 1992, *Stadler* et al. 1993, *Stadler* und *Robine* 1996, *Gehlen* et al. 1998A). Die Kardiometrie umfasste unter anderem die Durchmesser von linkem Ventrikel (LVD) und linkem Atrium (LADmax) und Mitralklappendurchmesser (LADmv). Die fraktionelle Verkürzung des linken Ventrikels (FS%) wurde als ein Maß der Kontraktilität bestimmt. Mittels CW (continuous wave) Doppler wurden die Rückflüsse an den Klappen ohne Winkelkorrektur untersucht und in unbedeutende Regurgitationen und geringgradige, mittelgradige und hochgradige Insuffizienzen eingeteilt. Zusätzlich erfolgte die Messung der Blutflüsse auf Höhe der Aortenklappe winkelkorrigiert mittels PW (pulsed wave Doppler).

Zur Untersuchung der A. carotis communis wurden alle Tiere im Bereich der Messstelle auf einer Fläche von jeweils 5 x 5 cm geschoren. Anschließend erfolgte eine Entfettung mit Alkohol und das Auftragen von Ultraschallgel zur Erzielung einer optimalen Ankopplung.

An der rechten A. carotis communis erfolgten die Messungen im dorsalen Winkel der dreieckigen Fossa jugularis. Der Anschallwinkel betrug ca. 40 bis 60° nach ventro-caudomedial, die Messtiefe ca. 2-4 cm. Der Schallkopf wurde mindestens zweimal je Messpunkt angesetzt. Ausgewertet wurden drei Pulszyklen aus verschiedenen Ansätzen. Alle Messungen wurden mit Winkelkorrektur vorgenommen.

Im B-Mode wurden die Messungen jeweils endsystolisch und enddiastolisch durchgeführt. Zur Orientierung diente das mitlaufende EKG, wobei die Enddiastole auf Höhe der Q-Zacke und die Endsystole unmittelbar nach der T-Zacke

definiert wurden. Der Durchmesser wurde im Querschnitt, jeweils systolisch und diastolisch (Ds und Dd) über drei Pulszyklen gemessen.

Mittels Farbdoppler wurden eine qualitative und semiquantitative Beurteilung des Blutflusses (schnelle Diagnostik) durchgeführt. Soweit möglich wurden Strömungsprofil, eventuelle Turbulenzen und Richtung der Blutflüsse (ortho- oder retrograd) bewertet und die systolische Maximalgeschwindigkeit abgeschätzt.

Die quantitative Auswertung des Dopplerspektrums (Abb.1) umfasste die folgenden Größen: die systolische Spitzengeschwindigkeit (SPV, systolic peak velocity), die diastolische Spitzengeschwindigkeit (DPV, diastolic peak velocity), die Spitzengeschwindigkeit negativer Blutflüsse (rDPV, retrograde diastolic peak velocity), die enddiastolische Geschwindigkeit (EDV, enddiastolic velocity) und die kleinste orthograde Blutflussgeschwindigkeit (Vmin), welche häufig mit der EDV identisch ist.

Von den gemittelten Geschwindigkeiten wurden die mittlere maximale Geschwindigkeit TAMAX (time averaged maximal velocity) und die intensitätsgewichtete mittlere Geschwindigkeit TAV (time averaged velocity) gemessen. Zur Berechnung

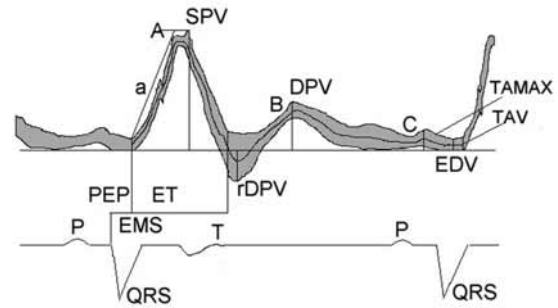


Abb 1 Exemplarischer Messvorgang am Beispiel eines schematisierten Blutflusses der Arteria carotis communis (ACC) des Pferdes, aufgezeichnet am Messpunkt in der Fossa jugularis. A = systolische Amplitude, B = frühdiastolische Amplitude, C = Vorhofamplitude, a = Beschleunigung der A-Welle, SPV = systolische Spitzengeschwindigkeit, DPV = diastolische Spitzengeschwindigkeit, EDV = enddiastolische Geschwindigkeit, rDPV = retrograde diastolische Spitzengeschwindigkeit, PEP = pre-ejection period, ET = ejection time und EMS = electromechanical systole.

Spectral analysis in a schematic representation of the Doppler sonographic waveform of the common carotid artery (CCA) of the horse. Recording site was just above the right fossa jugularis at the aperture thoracica. A = A-wave, B = B-wave, C = C-wave, a = acceleration of A-wave to peak velocity, SPV = systolic peak velocity, DPV = diastolic peak velocity, EDV = end diastolic velocity, rDPV = retrograde diastolic peak velocity.

Tab 1 Mittelwerte und statistische Unterschiede ausgewählter kardiometrischer Messwerte der Gruppen 1 bis 4 der untersuchten Pferde im Vergleich zur Kontrollgruppe. (Legende: n = Anzahl, x = Mittelwert, s = Standardabweichung, min = Minimalwert, max = Maximalwert, p = Signifikanz, Gruppe 0 = Kontrollgruppe, Gruppe 1 = Aortenklappeninsuffizienz mit Ventrikeldilatation, Gruppe 2 = Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation, Gruppe 3 = Mitralklappeninsuffizienz mit Vorhofdilatation, Gruppe 4 = Mitralklappeninsuffizienz ohne Dilatation, LVDmv = linker Ventrikeldurchmesser unterhalb der Mitralklappe, LADmax = maximaler Durchmesser des linken Atriums, LADmv = Durchmesser des linken Atriums auf Höhe der Mitralklappe, FS = fraktionelle Verkürzung des linken Ventrikels)

Mean values and statistical differences in cardiac measurement values of the groups 1 to 4 in respect to the controls. (Legend: n = number, x = mean, s = standard deviation, min = minimal, max = maximal, p = significance, group 0 = controls, group 1 = aortic insufficiency with ventricular dilatation, group 2 = aortic insufficiency without dilatation, group 3 = mitral insufficiency with atrial dilatation, group 4 = mitral insufficiency without dilatation, LVDmv = left ventricular diameter, LADmax = maximal left atrial diameter, LADmv = left atrial diameter at the level of the mitral valve, FS = fractional shortening)

Parameter	Gruppe	n	x ± s	min	max	Median	p
LVDmv (cm)	0	16	12,31 ± 0,59	10,93	13,09	12,52	-
	1	12	14,36 ± 2,23	10,20	18,06	14,21	0,001*
	2	10	12,48 ± 0,73	11,12	13,78	12,53	0,623
	3	10	13,95 ± 0,71	13,10	15,08	13,85	0,000*
	4	9	12,91 ± 0,43	12,49	13,88	12,76	0,014*
LADmax (cm)	0	16	10,91 ± 0,65	9,70	12,17	11,10	-
	1	12	12,26 ± 2,63	8,86	16,67	12,34	0,042*
	2	10	11,01 ± 0,94	9,27	12,23	11,14	0,623
	3	10	13,42 ± 0,66	12,62	14,83	13,29	0,000*
	4	9	11,59 ± 0,51	10,92	12,58	11,6	0,014*
LADmv (cm)	0	16	9,06 ± 0,56	7,91	9,73	9,18	-
	1	12	10,29 ± 1,84	7,33	12,72	10,56	0,015*
	2	10	9,68 ± 0,89	7,80	10,66	9,75	0,047*
	3	10	11,11 ± 0,96	10,10	13,35	11,06	0,000*
	4	9	10,04 ± 0,41	9,39	10,48	10,22	0,000*
FS (%)	0	16	34,69 ± 3,93	29,68	43,01	33,30	-
	1	12	40,25 ± 5,49	31,84	47,83	40,88	0,007*
	2	10	37,43 ± 3,92	30,34	43,28	37,25	0,087
	3	10	38,84 ± 3,74	30,94	42,86	39,60	0,023*
	4	9	36,37 ± 4,22	30,56	44,60	36,02	0,329

Tab 2 Mittelwerte und statistische Unterschiede ausgewählter Parameter der Blutflussmessung an der Aortenklappe (AV) der Gruppen 1 bis 4 im Vergleich zur Kontrollgruppe. (Legende: Vmax = maximale systolische Geschwindigkeit, a = Beschleunigung der systolischen Welle, VTI = Geschwindigkeit-Zeit-Intervall; s. a. Tab 1)

Mean values and statistical differences in Doppler spectral measurement values at the aortic valve of the groups 1 to 4 in respect to the controls. (Legend: Vmax = maximal velocity of systolic blood flow, a = acceleration of the systolic wave, VTI = velocity time integral, see also legend Tab 1)

Parameter	Gruppe	n	x ± s	min	max	Median	p
Vmax (m/s)	0	16	1,04 ± 0,15	0,78	1,46	1,04	-
	1	12	1,40 ± 0,29	1,03	1,95	1,35	0,000*
	2	10	1,15 ± 0,17	0,98	1,47	1,10	0,097
	3	10	1,07 ± 0,19	0,82	1,49	1,10	0,737
	4	9	0,97 ± 0,09	0,82	1,16	0,94	0,095
a (m/s ²)	0	16	7,49 ± 1,57	5,46	11,73	7,35	-
	1	12	10,00 ± 2,59	7,52	15,78	9,46	0,003*
	2	10	8,33 ± 1,46	5,79	11,01	8,16	0,150
	3	10	9,62 ± 3,26	3,47	14,20	10,57	0,053
	4	9	6,67 ± 1,38	5,14	8,99	6,97	0,207
VTI (cm)	0	16	35,51 ± 6,11	26,31	51,79	35,48	-
	1	12	45,81 ± 10,39	29,86	63,11	45,49	0,003*
	2	10	38,48 ± 5,72	30,11	49,24	38,19	0,241
	3	10	37,94 ± 6,72	27,38	50,50	38,69	0,262
	4	9	34,03 ± 5,53	28,11	46,04	32,26	0,487

der TAMAX wurde die Höhe der Dopplerfrequenzänderung verwendet, die der Hüllkurve des Dopplerspektrums entspricht. In die Berechnung der intensitätsgewichteten mittleren Geschwindigkeit (TAV) gehen sowohl Höhe als auch Amplitude des Dopplershifts ein, was eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Summationsspektrums zur Folge hat. Daneben wurden die systolische (TAVs, systolic time averaged velocity) und die diastolische (TAVd, diastolic time averaged velocity) intensitätsgewichtete Geschwindigkeiten ermittelt.

Die Zeitmessungen umfassten die Erhebung der Beschleunigungszeit der systolischen Welle (atA, acceleration time A-wave to peak velocity), des R-R-Zeitintervalls im EKG zur Berechnung der Herzfrequenz und die Ermittlung der systolischen Zeitintervalle PEP (pre-ejection period), ET (ejection time) und EMS (electromechanical systole). Aus den erhobenen Werten wurde die Beschleunigung der systolischen A-Welle über die Formel $aA = SPV/atA$ berechnet. Des Weiteren fand die Berechnung der Pulsatilitätsindices RI (resistive index) = $SPV-Vmin/SPV$, PI (pulsatility index) = $SPV-Vmin/TAMAX$ und S/D (S/D-Ratio) = SPV/DPV mittels angegebener Formeln statt.

Die Blutflussvolumina (BFV) pro Minute wurden sowohl mit der TAMAX ($BFV/minTX = (Dd/2)^2 \times TAMAX \times \pi \times 60$) als auch mit der TAV ($BFV/minT = (Dd/2)^2 \times TAV \times \pi \times 60$) berechnet. Außerdem wurden der systolische Anteil und der diastolische Anteil des Blutflussvolumens pro Pulszyklus entsprechend ihrem Zeitanteil mit TAVs und Ds und TAVd und Dd berechnet. Zum interindividuellen Vergleich wurden alle Blutflussvolumina pro kg Körpermasse dargestellt.

Die subjektive Beurteilung (Spektralanalyse) umfasste eine qualitative Beurteilung der Flussmuster anhand der Kriterien Strömungsrichtung (orthograd, retrograd), Anzahl und Beschaffenheit der einzelnen Amplituden, Deutlichkeit der

systolischen und diastolischen Fenster, Breite des Frequenzspektrums und Intensität der Dopplershifts.

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm „SPSS for Windows“, Version 12.0 der Fa. SPSS Inc. vorgenommen. Für jeden Parameter eines Probanden wurde ein Mittelwert aus drei Messungen bestimmt. Die Darstellung der Gruppenunterschiede erfolgte durch den nichtparametrischen Mann-Whitney U-Test für zwei unabhängige Stichproben. Dabei wurde jeweils der Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und den verschiedenen Probandengruppen gezogen. Die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen wurde mit $p \leq 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Die statistischen Erhebungen ergaben keine Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts und des Körpergewichts zwischen den Kontrollen und den jeweiligen Gruppen der Pferde mit Insuffizienzen. Die Pferde der Gruppe 1 (Aortenklappeninsuffizienzen mit Dilatation) waren signifikant älter als die Pferde der Kontrollgruppe (Gruppe 0).

Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung

Die Werte der maximalen Innendurchmesser des linken Ventrikels (LVDmv) und des linken Atriums (LADmax) (Tab 1) zeigten sich bei den Pferden mit Aortenklappeninsuffizienz (AVI) mit Dilatation (Gruppe 1) und bei den Pferden mit Mitralklappeninsuffizienz (MVI) mit Dilatation (Gruppe 3) signifikant erhöht. Überraschenderweise waren auch bei der Gruppe 4 der Pferde mit Mitralklappeninsuffizienz, bei denen individuell keine Dilatation diagnostiziert wurde, die Werte von LVDmv und LADmax erheblich verändert im Vergleich zur Kontrollgruppe. Bei allen Gruppen von Pferden mit Klappeninsuffizienzen konnte

eine signifikante Vergrößerung des Anulus mitralis über die Messung der LADmv (Atriumdurchmesser auf Höhe der Mitralklappe) im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden werden. Die fraktionelle Verkürzung (FS%) war bei den Gruppen der herzkranken Pferde mit Dilatationen (Gruppe 1 und Gruppe 3) erheblich erhöht im Vergleich zu den Kontrollen (Tab 1).

Von den Parametern der Blutflussmessungen an der Aortenklappe (Tab 2) konnten nur bei den Pferden mit Aortenklappeninsuffizienz und Dilatation (Gruppe 1) Erhöhungen der maximalen Austreibungsgeschwindigkeit (V_{max}), der

Beschleunigung der systolischen Austreibung (a) des Geschwindigkeit-Zeit-Intervalls (VTI) und der Herzfrequenz sowie eine Verkürzung der PEP (pre-ejection period) im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden werden.

Ergebnisse der quantitativen Spektralanalyse an der Arteria carotis communis

Die systolische Spitzengeschwindigkeit (SPV) der A-Welle gemessen an der Arteria carotis communis (ACC) zeigte sich

Tab 3 Mittelwerte und statistische Unterschiede ausgewählter Geschwindigkeiten an der Arteria carotis communis (ACC) bei den Pferden der Gruppen 1 bis 4 im Vergleich zur Kontrollgruppe. (Legende: SPV = systolic peak velocity, DPV = diastolic peak velocity, EDV = end diastolic velocity, rDPV = retrograde diastolic peak velocity, TAMAX = time averaged maximal velocity, TAV = time averaged velocity, aA = acceleration A-wave, s. a. Tab 1)

Mean values and statistical differences in the measurement values of velocities at the common carotid artery of the groups 1 to 4 in respect to the controls. (Legend: see above and Tab 1)

Parameter	Gruppe	n	$\bar{x} \pm s$	min	max	Median	p
SPV (cm/s)	0	16	87,77 ± 10,68	77,14	114,00	83,42	-
	1	12	135,16 ± 18,09	106,00	157,00	140,94	0,000*
	2	10	95,14 ± 9,41	77,19	107,00	97,00	0,060
	3	10	73,64 ± 9,27	55,20	90,00	74,12	0,000*
	4	9	76,26 ± 11,81	62,32	102,00	73,00	0,004*
DPV (cm/s)	0	16	35,52 ± 4,05	28,02	43,00	36,00	-
	1	12	24,89 ± 13,15	0,00	45,94	24,00	0,023*
	2	10	33,39 ± 5,63	26,00	41,96	32,39	0,336
	3	10	29,10 ± 9,29	6,88	39,00	31,68	0,036*
	4	9	33,90 ± 6,73	27,00	46,00	30,59	0,276
EDV (cm/s)	0	16	13,97 ± 2,36	10,00	18,31	13,63	-
	1	12	-13,68 ± 20,58	-48,00	12,00	-9,50	0,000*
	2	10	11,31 ± 2,42	6,03	14,38	12,00	0,014*
	3	10	10,49 ± 5,18	-2,36	15,00	11,58	0,053
	4	9	14,59 ± 4,79	7,00	23,58	14,00	0,803
rDPV (cm/s)	0	16	-7,10 ± 7,18	-19,60	0,00	-7,66	-
	1	12	-33,11 ± 14,75	-61,76	-10,00	-31,27	0,000*
	2	10	-14,67 ± 9,36	-27,00	0,00	-16,93	0,036*
	3	10	-10,53 ± 10,40	-26,22	0,00	-9,44	0,484
	4	9	-10,65 ± 8,83	-21,52	0,00	-11,00	0,276
TAMAX (cm/s)	0	16	31,94 ± 3,79	23,96	37,11	31,89	-
	1	12	21,03 ± 14,06	2,90	41,02	19,63	0,066
	2	10	27,89 ± 4,13	22,22	34,81	27,48	0,027*
	3	10	23,56 ± 5,80	15,27	33,85	21,52	0,000*
	4	9	28,14 ± 6,36	18,09	37,19	28,19	0,169
TAV (cm/s)	0	16	21,77 ± 2,99	17,65	27,68	21,52	-
	1	12	15,53 ± 8,79	4,82	32,63	16,32	0,007*
	2	10	19,24 ± 3,39	12,42	24,02	19,88	0,121
	3	9	15,61 ± 4,45	10,22	21,31	13,98	0,004*
	4	9	19,14 ± 5,49	9,77	27,10	18,85	0,187
aA (m/s ²)	0	16	4,51 ± 1,37	3,32	8,90	4,08	-
	1	12	6,66 ± 2,04	4,08	11,83	6,43	0,000*
	2	10	4,69 ± 1,32	2,53	6,83	4,51	0,391
	3	10	3,49 ± 0,47	2,82	4,09	3,65	0,005*
	4	9	3,68 ± 0,64	2,88	5,13	3,53	0,057

Tab 4 Mittelwerte und statistische Unterschiede errechneter Blufflussvolumina pro kg KM und Minute an der ACC bei den Pferden der Gruppen 1 bis 4 im Vergleich zur Kontrollgruppe. (Legende: BFVTX = Blufflussvolumen berechnet mittels TAMAX, BFVT = Blufflussvolumen berechnet mittels TAV, BFVTs = systolisches Blufflussvolumen berechnet mit TAVs, BFVTd = diastolisches Blufflussvolumen berechnet mit TAVd, s. a. Tab 1).
Mean values and statistical differences of the calculated values of blood flow volumes per minute and kg bodyweight at the common carotid artery of the groups 1 to 4 in respect to the controls. (Legend: BFVTX = blood flow volume calculated with TAMAX, BFVT = blood flow volume calculated with TAV, BFVTs = systolic share in blood flow volume calculated with TAVs, BFVTd = diastolic share in blood flow volume calculated with TAVd).

Parameter	Gruppe	n	$\bar{x} \pm s$	min	max	Median	p
BFVTX (ml)	0	16	3,97 ± 0,52	3,32	5,29	3,78	-
	1	12	2,26 ± 1,59	0,27	5,14	1,97	0,006*
	2	10	3,48 ± 0,69	2,47	4,61	3,51	0,060
	3	10	2,69 ± 0,49	1,94	3,39	2,69	0,000*
	4	9	3,33 ± 0,60	2,22	4,20	3,21	0,014*
BFVT (ml)	0	16	2,69 ± 0,29	2,33	3,22	2,59	-
	1	12	1,62 ± 0,79	0,45	3,12	1,66	0,000*
	2	10	2,38 ± 0,44	1,79	3,17	2,43	0,097
	3	9	1,74 ± 0,35	1,06	2,24	1,84	0,000*
	4	9	2,26 ± 0,51	1,20	2,94	2,24	0,027*
BFVTs (ml)	0	16	1,64 ± 0,31	1,15	2,39	1,64	-
	1	12	1,94 ± 0,50	1,36	2,78	1,73	0,159
	2	10	1,67 ± 0,29	1,12	2,05	1,64	0,816
	3	9	1,20 ± 0,53	0,62	2,31	1,06	0,007*
	4	9	1,44 ± 0,31	1,04	1,86	1,39	0,152
BFVTd (ml)	0	16	1,22 ± 0,22	0,87	1,76	1,19	-
	1	12	-0,15 ± 0,78	-1,12	1,14	-0,51	0,000*
	2	10	0,99 ± 0,23	0,66	1,49	0,97	0,010*
	3	9	0,70 ± 0,40	-0,16	1,17	0,69	0,000*
	4	9	1,03 ± 0,35	0,33	1,58	0,96	0,108

Tab 5 Mittelwerte und statistische Unterschiede der Widerstandsindices RI (resistive index), PI (pulsatility index) und S/D (Systole/Diastole – Ratio) an der ACC bei den Pferden der Gruppen 1 bis 4 im Vergleich zur Kontrollgruppe (Legende: s. Tab 1).
Mean values and statistical differences of PI, RI and S/d of the spectral tracing at the common carotid artery of the groups 1 to 4 in respect to the controls.

Parameter	Gruppe	n	$\bar{x} \pm s$	min	max	Median	p
RI	0	16	0,84 ± 0,03	0,77	0,89	0,86	-
	1	12	0,98 ± 0,04	0,89	1,00	1,00	0,000*
	2	10	0,89 ± 0,04	0,85	0,97	0,88	0,005*
	3	10	0,87 ± 0,07	0,80	1,00	0,83	0,897
	4	9	0,82 ± 0,09	0,68	1,00	0,82	0,095
PI	0	16	2,99 ± 0,35	2,45	3,62	2,94	-
	1	12	17,22 ± 21,94	3,42	67,69	9,67	0,000*
	2	10	4,02 ± 0,79	2,84	4,90	4,37	0,003*
	3	10	3,79 ± 1,21	2,66	6,03	3,49	0,135
	4	9	3,24 ± 0,95	2,34	5,42	2,90	0,978
S/D	0	16	2,49 ± 0,32	2,02	3,18	2,48	-
	1	12	18,24 ± 40,67	2,80	147,00	7,44	0,000*
	2	10	2,92 ± 0,59	2,12	4,12	2,79	0,047*
	3	10	3,19 ± 2,68	2,17	10,79	2,31	0,484
	4	9	2,29 ± 0,39	1,64	2,85	2,43	0,357

in den Gruppen der Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz erhöht, das Signifikanzniveau wurde bei den Pferden mit Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation des linken Ventrikels (Gruppe 2) jedoch nicht erreicht. Bei den Pferden mit Mitral-

klappeninsuffizienz konnte eine erniedrigte SPV im Vergleich zu den Kontrollen festgestellt werden (Tab 3). Eine Erniedrigung der DPV konnte in beiden Gruppen der Pferde mit Dilatationen festgestellt werden. Beide Gruppen der Pferde mit

Aortenklappeninsuffizienz zeigten eine Senkung der EDV und eine Erhöhung der Rückflussgeschwindigkeit rDPV. Die mittlere maximale Geschwindigkeit TAMAX und die mittlere intensitätsgewichtete Geschwindigkeit TAV verhielten sich unterschiedlich in den jeweiligen Gruppen. Die TAMAX war in allen Gruppen erniedrigt, erreichte das Signifikanzniveau jedoch nur bei den Pferden mit AVI ohne Ventrikeldilatation (Gruppe 2) und bei den Pferden mit MVI und Dilatation (Gruppe 3). Die TAV war ebenso in allen Gruppen im Mittel gesenkt, signifikant im Vergleich zu den Kontrollen waren die Veränderungen nur in den beiden Gruppen mit Dilatationen. Die Beschleunigung der systolischen Welle (aA) zeigte sich erhöht bei der Gruppe AVI mit Dilatation und erniedrigt bei der Gruppe MVI mit Dilatation (Tab 3).

Die Berechnung der Blutflussvolumina pro kg Körpermasse sowohl mittels TAMAX als auch mittels TAV ergab im Vergleich zu der Kontrollgruppe eine signifikante Erniedrigung in allen Gruppen, mit Ausnahme der Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation der Herzkammern (Gruppe 2, Tab 4). Bei diesen Pferden (Gruppe 2) zeigte sich jedoch der diastolische Anteil des Blutflussvolumens signifikant gesenkt. Das diastolische Blutflussvolumen erfuhr eine Erniedrigung auch bei den Pferden mit AVI mit Dilatation und MVI mit Dilatation (Gruppe 1 und Gruppe 3). Der systolische Anteil am Blutflussvolumen war nur in der Gruppe der Pferde mit MVI und Dilatation des linken Atriums signifikant gesenkt, in der Gruppe AVI mit Dilatation war sogar eine Erhöhung des Mittelwertes zu verzeichnen, welche jedoch das Signifikanzniveau nicht erreichte (Tab 4).

Von den systolischen Zeitintervallen, gemessen am Blutflussspektrum der ACC, konnte nur bei den Pferden mit Aortenklappeninsuffizienz und Dilatation (Gruppe 1) eine Verkürzung der PEP (pre-ejection period) im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden werden. Die Widerstandsindices RI (Pourcelot index), PI (Gosling index) und S/D (S/D Ratio) waren insgesamt signifikant erhöht in den beiden Gruppen mit Aortenklappeninsuffizienz im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Ergebnisse der qualitativen Untersuchung des Dopplerspektrums an der Arteria carotis communis

Das Blutflussspektrum an der ACC eines gesunden Pferdes zeigt im Allgemeinen drei oder vier Wellen (Amplituden). Fast immer identifizierbar sind die systolische Welle (A-Welle), die frühdiastolische Welle (B-Welle) und die Vorhofwelle (C-Welle) unmittelbar nach der P-Welle im EKG. Am aufsteigenden Schenkel der systolischen Welle ist die Bandbreite der Dopplerfrequenzänderungen schmal und verbreitert sich im absteigenden Teil. Die Bandbreite des Dopplerspektrums vergrößert sich in der Diastole. Die Fenster unter der A-Welle und B-Welle sind klar bis leicht „verhangen“. Eine Inzisur im aufsteigenden Schenkel der systolischen Welle und ein spätsystolisch-frühdiastolischer Rückfluss sind in ungefähr der Hälfte der Fälle vorhanden (Abb 2).

Bei geringgradiger Aortenklappeninsuffizienz ist eine Erhöhung der systolischen Spitzengeschwindigkeit und ein gesteigerter frühdiastolischer retrograder Fluss sowie ein verminderter enddiastolischer Fluss zu verzeichnen. Abhängig vom Grad der Aortenklappeninsuffizienz und dem Grad der Dilatation des lin-

ken Ventrikels kann ein enddiastolischer retrograder Fluss bestehen (Abb 3). Hochgradige frühdiastolische sowie mitt- bis enddiastolische Rückflüsse (Abb 4) bis hin zu einem rein retrograden Fluss mit ansteigender Geschwindigkeit in der Diastole werden bei hochgradigen Aortenklappeninsuffizienzen mit

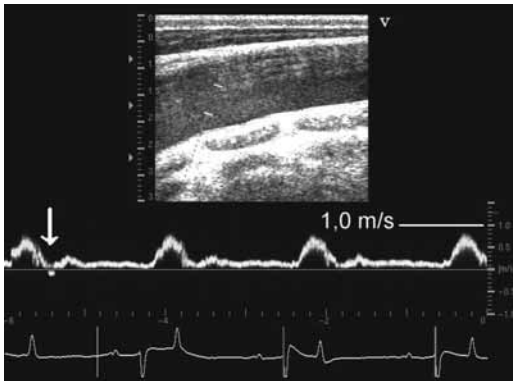


Abb 2 Dopplerspektrum des Blutflusses an der ACC eines herzgesunden Pferdes, aufgezeichnet auf Höhe des Brusteingangs. Orthograde Fluss, klare Fenster unter der A- und B-Welle, schmales Frequenzspektrum und Inzisierung im aufsteigenden Schenkel der A-Welle und Verbreiterung des Spektrums mitt- bis endsystolisch und diastolisch. Im ersten Pulszyklus ist ein frühdiastolischer minimaler retrograder Fluss (Pfeil) bei gleichzeitigem Vorwärtsfluss zu verzeichnen. Die vertikale Achse gibt die Geschwindigkeit in m/s wieder, die horizontale Achse ist die Zeitachse des Dopplerspektrums.
Spectral waveform of the blood flow at the CCA in a horse without heart disease. Orthograde flow, clear windows under the A-wave and B-wave, a narrow bandwidth of the Doppler frequency shifts in the anacrotic elbow of the systolic wave and broadening of the spectral trace in the descending part of the systolic wave and in diastole. In the first pulse cycle of the trace recording a small early diastolic reverse flow component (arrow) can be depicted.

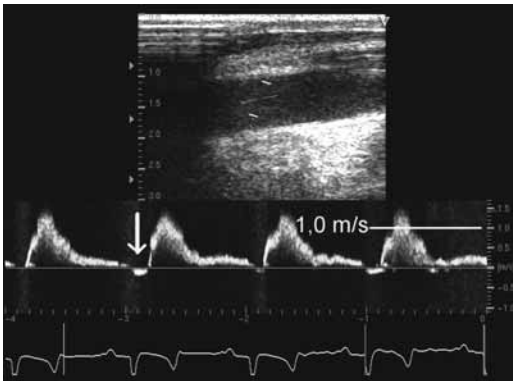


Abb 3 Dopplerspektrum an der ACC eines Pferdes mit hochgradiger Aortenklappeninsuffizienz und geringgradiger Dilatation des linken Ventrikels. Deutlich erhöhte systolische Spitzengeschwindigkeit (1,5 m/s), angedeutete frühdiastolische Welle, Verbreiterung des Frequenzspektrums im absteigenden Schenkel der systolischen Welle und retrograder enddiastolischer Fluss (Pfeil).
Doppler spectral trace of a blood flow at the CCA in a horse with severe aortic insufficiency and mild dilatation of the left ventricle. There is a marked elevation in the systolic peak velocity, low velocity early diastolic wave, spectral broadening in the descending part of the A-wave and a reverse end diastolic flow (arrow).

erheblichen Dilatationen des linken Ventrikels gesehen. Bei Pferden mit Mitralklappeninsuffizienz sind eine Verbreiterung des Frequenzspektrums in der Systole und in der Diastole und niedrigere systolische Spitzengeschwindigkeiten zu registrieren

(Abb 5). Die Art und Größe retrograder Flüsse ist sehr unterschiedlich. Die Abflachung der Amplituden ist besonders ausgeprägt bei hochgradigen Mitralklappeninsuffizienzen mit erheblicher Dilatation des linken Vorhofs und Ventrikels (Abb 6).

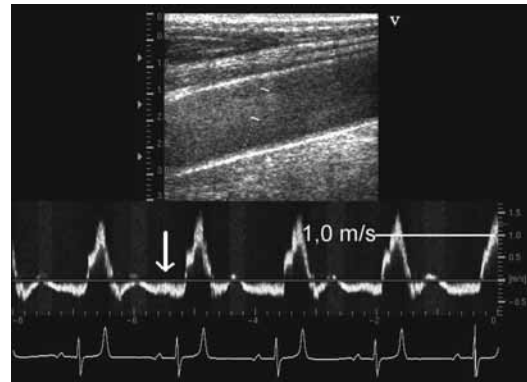


Abb 4 Blutflussprofil an der ACC eines Pferdes mit hochgradiger Aortenklappeninsuffizienz und hochgradiger Dilatation des linken Ventrikels. Hohe systolische Spitzengeschwindigkeit mit fast vollständigem retrogradem Fluss in der Diastole (Pfeil). Ein orthograde Blutfluss ist nur in der Frühdiastole zu registrieren.
Doppler spectral trace of the blood flow at the CCA in a horse with severe aortic insufficiency and marked dilatation of the left ventricle. High systolic peak velocity with reverse flow in almost entire diastole (arrow). Forward flow is to be noticed only at early diastole.

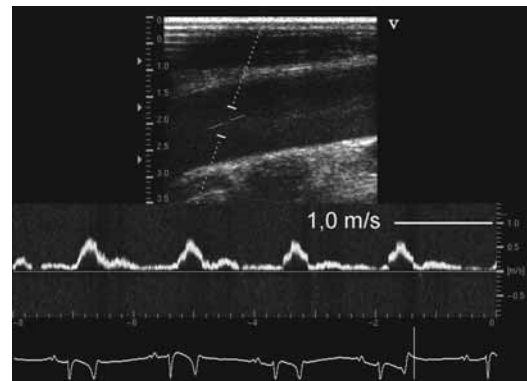


Abb 5 Frequenzspektrum eines Flussprofils an der ACC eines Pferdes mit mittelgradiger Mitralklappeninsuffizienz und geringgradiger Dilatation des linken Atriums. Flach ansteigende systolische Welle, niedrige systolische Spitzengeschwindigkeit (0,65 m/s), verbreitertes Frequenzspektrum und geringe Geschwindigkeit des enddiastolischen Flusses.
Doppler spectral waveform at the CCA in a horse with moderate mitral insufficiency and mild dilatation of the left atrium. Low systolic peak velocity, spectral broadening and low end diastolic velocities.

Bei der dilatativen Kardiomyopathie sind in der Regel eine zweipfelige systolische Welle mit niedriger Geschwindigkeit und kaum erkennbare diastolische Amplituden zu beobachten (Abb 7). Diastolische Rückflüsse und ungleichmäßige sowie unregelmäßige, stark erniedrigte systolische Flüsse können bei der dilatativen kongestiven Kardiomyopathie im kardiogenen Schock gesehen werden (Abb 8). Bei allen untersuchten Pferden mit einer dilatativen Kardiomyopathie war eine erhebliche Verminderung der Blutflüsse pro Zeiteinheit zu verzeichnen.

Der Blutfluss an der ACC ist bei einer akuten Endocarditis valvularis der Aortenklappe geprägt durch die Insuffizienz der

Klappe bei erhöhter Kontraktilität einer nicht vergrößerten linken Herzkammer. Im Allgemeinen treten systolisch orthograde Flüsse sehr hoher Geschwindigkeit sowie diastolisch rein retrograde zur Enddiastole hin langsamer werdende Flüsse auf (Abb 9).

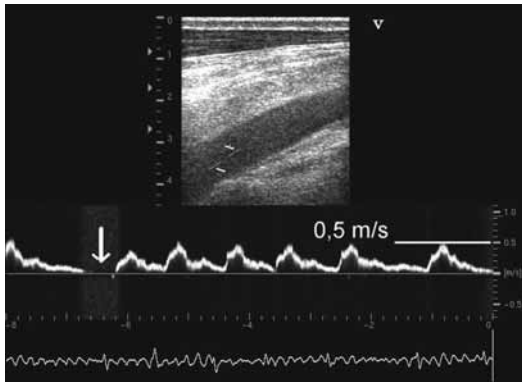


Abb 6 Dopplerfrequenzspektrum an der ACC eines Pferdes mit hochgradiger Mitralklappeninsuffizienz, hochgradiger Dilatation des linken Atriums und tachykardem Vorhofflimmern. Rein orthograde Fluss mit erheblich erniedrigter systolischer Spitzengeschwindigkeit (0,5 m/s), frühdiastolische Welle, erniedrigte enddiastolische Geschwindigkeit bis hin zu einem Nullfluss (Pfeil) nach einer Blockade der anterograden Erregung.
Spectral waveform at the CCA in a horse with severe mitral insufficiency, marked dilatation of the left atrium and atrial fibrillation. Forward flow with highly diminished systolic (0,5 m/s) and diastolic velocities and zero flow (arrow).

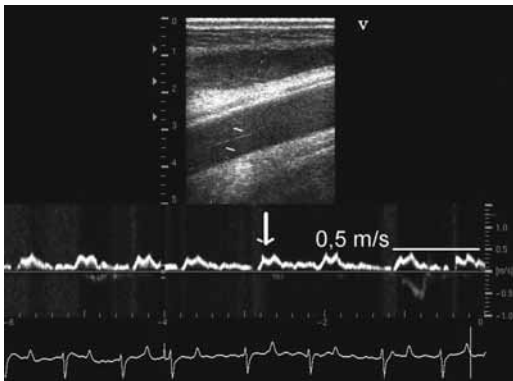


Abb 7 Blutfluss an der ACC eines Pferdes mit dilatativer Kardiomyopathie mit Rechts- und Linksherzdilatation und Insuffizienzen unterschiedlicher Ausprägung an allen Herzklappen. Orthograde Fluss mit zweizackiger systolischer Welle (Pfeil), hochgradig erniedrigte systolische Spitzengeschwindigkeit (0,45 m/s) und breitem Frequenzspektrum.
Blood flow waveform at the CCA in a horse with dilatative cardiomyopathy with right and left heart enlargement and regurgitations at all valves. Forward flow with biphasic aspect of the systolic wave (arrow), marked decrease in overall velocities and broadened spectral trace.

Bei der Endocarditis valvularis thromboticans der Aortenklappe mit Insuffizienz und Stenose besteht an der ACC ein turbulenter systolischer Fluss ohne Erhöhung der Spitzengeschwindigkeit, gekennzeichnet durch das verhangene Fenster der A-Welle. Zahlreiche geringgradige Rückflüsse in jedem Wellental, enddiastolische Turbulenzen und ein niedriger enddiastolischer Fluss sind zu erkennen (Abb 10). Bei Pferden mit einer Endocarditis war das pro Zeiteinheit gemessene Blutflussvolumen in der ACC in allen Fällen stark erniedrigt.

Bei Pferden mit normokardem Vorhofflimmern verändern sich die Blutflussmuster nicht wesentlich im Vergleich zu jenen bei gesunden Pferden. Lediglich die systolischen Spitzengeschwindigkeiten nach einer Blockade der anterograden Erregung sind erhöht, vermindern sich aber stufenweise in den

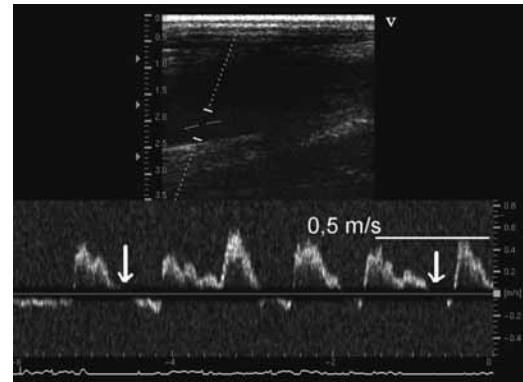


Abb 8 Blutfluss an der ACC eines Pferdes mit kongestiver dilatativer Kardiomyopathie mit klinischer Herzinsuffizienz, Vorhofflimmern, Lungen-, Unterbrust- und Unterbauchödem im kardiogenen Schockgeschehen. Dopplerspektrum niedriger Intensität mit ungleichmäßig und unregelmäßig ausgeprägten systolischen und diastolischen orthograden Flüssen sowie retrograden diastolischen Flüssen. Hochgradig erniedrigte systolische Spitzengeschwindigkeit (0,35 - 0,5 m/s); der scheinbare Nullfluss (Pfeile) an manchen Stellen des Spektrums ist die Folge des fehlerhaft zu hoch eingestellten Wandbewegungsfilters.

Spectral trace of the blood flow in the CCA of a horse with dilatative congestive cardiomyopathy, atrial fibrillation and clinical signs of heart failure and cardiogenic shock. Spectral trace of low intensity with systolic and diastolic waves of irregular shape and low velocities; inconsistent retrograde flow patterns.

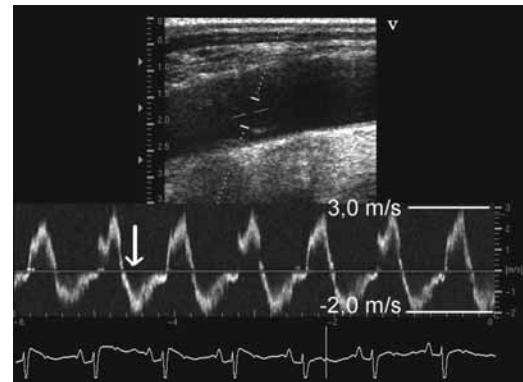


Abb 9 Dopplerfrequenzspektrum eines Blutflusses der ACC bei einem Pferd mit perakuter Symptomatik einer bakteriellen Endocarditis valvularis der Aortenklappe mit hochgradiger Insuffizienz ohne Dilatation der Herzkammern. Extrem hohe systolische Spitzengeschwindigkeit (3,0 m/s), rein retrograder diastolischer Fluss hoher Geschwindigkeit (-2,0 m/s) mit abfallender Geschwindigkeit zum Ende der Diastole hin (Pfeil).
Spectral Doppler trace of the CCA blood flow in a horse with bacterial endocarditis of the aortic valve with severe insufficiency and without dilatation of the left ventricle. Extremely high systolic peak velocity (3,0 m/s), reverse diastolic flow (arrow) of high velocity (-2,0 m/s) with diminishing velocities to the end of diastole.

nachfolgenden Pulszyklen. Charakteristisch sind nur die Ungleichmäßigkeit und die Unregelmäßigkeit der Pulszyklen. Ein ausgeprägter diastolischer Ruhefluss ist nach jeder Blockade zu beobachten (Abb 11). Sonstige Veränderungen des Blutflussmusters bei Pferden mit Vorhofflimmern sind abhän-

Diskussion

Trotz standardisierter Untersuchungstechnik ist es bei der kardiologischen Untersuchung eines Pferdes oft schwierig, die globale Funktion des Herzens richtig einzuschätzen und quantitativ zu erfassen. So ist es praktisch nur bedingt möglich das Volumen eines Rückflusses bei einer Insuffizienz quantitativ zu ermitteln, weshalb man auf eine qualitative oder semiquantitative Bestimmung (Gehlen et al. 1998B) zurückgreift. Nichtinvasive Methoden zur Quantifizierung der linksventrikulären systolischen und diastolischen Funktion beim Pferd sind häufig beschrieben, wie z.B. Messung der FS, der Ejektionsfraktion, Bewegungsmuster der Mitralklappe und Bestimmung des Schlagvolumens u.a. (Long et al. 1992, Stadler et al. 1994, Patteson et al. 1995, Stadler et al. 1995, Young et al. 2005, Gehlen et al. 2005). In der Humanmedizin gängige Methoden wie die Bestimmung der volumetrischen Ejektionsfraktion, Wandbewegungsanalyse und Gewebedopplerechokardiographie sind beim Pferd nicht wirklich ausgereift und nur teilweise untersucht. Eine bewährte Methode, wie z.B. die Messung der FS% zur Bestimmung der systolischen Funktion (Long et al. 1992, Stadler et al. 1993) scheint aus verschiedenen Gründen bei gewissen Kardiopathien nur eingeschränkt aussagefähig zu sein. Deshalb ist es sinnvoll neue, leicht anwendbare und empfindliche Methoden zur quantitativen Erfassung von Veränderungen im Herz- und Kreislaufsystem zu entwickeln. Der Einfluss des kardialen Status auf Blutflüsse an herznahen Gefäßen ist hinreichend bekannt (Ishikawa et al. 1975, Bennett et al. 1984, van Bel et al. 1992). Die Arteria carotis communis (ACC), als gut zugängliches, ein Niederdruckgebiet versorgendes Gefäß, bietet sich geradezu dazu an.

Ein Problem, das sich stellte war die Darstellung der Gruppen der Pferde mit dilatativer Kardiomyopathie, der Pferde mit Endocarditis valvularis und der Pferde mit Vorhofflimmern. Zum Einen sind die Gruppen zu klein um statistisch aussagefähig zu sein, oder auch zu unterschiedlich im Grad der Ausprägung der Herzerkrankung (Dilatative Kardiomyopathie, Endocarditis). Zum Anderen sind statistische Auswertungen in der Gruppe der Pferde mit Vorhofflimmern im Rahmen dieser Arbeit nicht sinnvoll, da sich die Parameter an der A. carotis nicht nur durch das Vorhofflimmern sondern vor allem durch die jeweilig betroffene Klappe und den jeweiligen Grad der Dilatation ändern. Die Gruppe der Pferde mit Vorhofflimmern war in dieser Hinsicht zu inhomogen. Deshalb wurde es vorgezogen diese Fälle deskriptiv zu betrachten.

Bei den Pferden mit Aortenklappeninsuffizienz (AVI) wurde eine signifikante Erhöhung der systolischen Geschwindigkeiten und der diastolischen Rückflussgeschwindigkeit sowie der Widerstandsindizes und eine verminderte enddiastolische Geschwindigkeit gefunden. Bei AVI ist auch eine erhöhte V_{max} an der Aortenklappe zu finden. Die Höhe der SPV ist in der Größe der effektiv treibenden Kraft zu suchen (Taylor 1995). Die Erhöhung der systolischen Spitzengeschwindigkeit hat ihre Ursache in der kompensatorischen Erhöhung des Schlagvolumens des linken Ventrikels, wie schon früher für die Blutflüsse an der Aortenklappe bei Aortenklappeninsuffizienzen beschrieben (Stadler et al. 1995B). Eine Rolle dabei spielt auch die bei AVI stark erhöhte Kontraktilität, wie schon in anderen Studien gezeigt wurde (van Bel et al. 1992). Auffällig ist, dass die Veränderungen der rDPV parallel mit der Ver-

änderung des Pulsatilitätsindex (PI) einhergehen, in dessen Berechnung die rDPV auch einfließt. Dies bestätigt die Annahme, dass retrograde Flüsse zum Teil durch die Pulsationsamplitude eines Gefäßes bestimmt werden. Die Veränderungen treten am deutlichsten bei den Pferden mit Dilatation des linken Ventrikels auf, was einen Zusammenhang der Größe der Veränderungen an den Blutflüssen der ACC mit dem Schweregrad der Herzerkrankung beweist.

Bei Mitralklappeninsuffizienzen (MVI) ergab sich eine statistisch gesicherte Erniedrigung der SPV, TAVs und Aa. Die rDPV und die Widerstandsindizes wiesen keine signifikanten Veränderungen im Vergleich zur Kontrollgruppe auf. Die Senkung der SPV bei MVI trotz erhöhter Verkürzungsfraction, lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Ursache in dem regurgitierten Blutflussvolumen an der Mitralklappe, aber auch in der erniedrigten Vorlast bei mittel- bis hochgradig vergrößertem linkem Vorhof über eine verminderte spätdiastolische Füllung zu suchen ist.

Allen Gruppen gemeinsam ist ein Abfall der TAMAX, TAV und DPV, vor allem bei den Pferden mit Dilatationen. Bei Betrachtung der Signifikanzniveaus fällt auf, dass die TAV als intensitätsgewichtete gemittelte Geschwindigkeit nur bei den Pferden mit Dilatationen erniedrigt ist, wobei die TAMAX als gemittelte Geschwindigkeit der Hüllkurve anders reagiert. Bei TAV und TAMAX ist der Einzelwert eines Pferdes für sich allein jedoch nicht immer aussagefähig, da negative Korrelationen zwischen TAV und dem Gefäßquerschnitt angenommen werden können; für TAMAX wurden solche Korrelationen beim Pferd bewiesen (Cipone et al. 1997). Als Grund dafür muss man anatomisch individuelle Unterschiede hinsichtlich Größe und Verjüngung der Gefäße sehen. Besser ist es, diesen Parameter in Berechnungen wie die Blutflussvolumina (BFV) eingehen zu lassen. Bei der Interpretation der TAV sind die Messtiefe, aus der die Dopplersignale empfangen werden, das Vorhandensein von Schall absorbierendem Gewebe (Ranke et al. 1992A), die Genauigkeit der Winkelkorrektur (Rizzo et al. 1990) und die Erfassung des gesamten Gefäßquerschnitts zu beachten (Gill 1979, Zierler et al. 1992, Schöning und Walter 1994).

Hinsichtlich der systolischen Zeitintervalle veränderte sich nur die pre-ejection period (PEP) bei AVI im Sinne einer Verkürzung. Die Verkürzung der PEP bei Aortenklappeninsuffizienz ist auf die erhöhte Kontraktilität (Ishikawa et al. 1975, Lewis et al. 1977, Atkins und Snyder 1992) und die verringerte Nachlast zurückzuführen. Doch sind Veränderungen der PEP weitgehend unspezifisch bezüglich der einzelnen Herzerkrankungen und reflektieren das Ergebnis des Zusammenspiels von Vorlast, Nachlast und inotropen Agenzien (Atkins und Snyder 1992).

Das errechnete Gesamtblutflussvolumen (BFVT) zeigte in beiden Patientengruppen mit Veränderungen der Herzmaße eine Verminderung im Vergleich zu den Kontrollen. Dabei war in der Gruppe mit AVI eine signifikante Verminderung des diastolischen Blutflussvolumenanteils, in der Gruppe mit MVI eine Verringerung sowohl des systolischen Anteils als auch des diastolischen Blutflussvolumenanteils zu verzeichnen. Dies ist auch die Erklärung für die in den meisten Fällen vorberichtlich angegebene Leistungsinsuffizienz der betroffenen Pferde. Bei hochgradigen und bei mittelgradigen

Klappeninsuffizienzen mit Dilatation lassen sich erhebliche Senkungen der Einzelwerte der BFV feststellen. Bei geringgradiger Insuffizienz bewegen sich die Werte im unteren Arbeitsbereich oder sind geringgradig erniedrigt. Stark erniedrigte Blutflussvolumina bei Hunden mit linksventrikulärer Dilatation wurden schon früher in der Aorta ascendens gemessen (Gardin et al. 1983). Die unterschiedlichen Veränderungen im systolischen und diastolischen Blutflussvolumenanteil bei AVI einerseits und MVI andererseits verdeutlichen am besten die Genese der Störungen in der Hämodynamik der ACC. So ist bei Mitralklappeninsuffizienz die systolische und diastolische Funktion des linken Ventrikels betroffen, wobei abhängig von der Größe der Regurgitation in den linken Vorhof die ausgetriebene Blutflussmenge sinkt (Long 1992). Eine Dilatation des linken Atriums infolge der Insuffizienz bewirkt jedoch auch eine verringerte spätdiastolische Füllung des Ventrikels (Jue et al. 1993). Das veränderte diastolische ventrikuläre Einstromverhalten bedingt somit auch Veränderungen in der Herzauswurfleistung. In beiden Gruppen mit AVI ist das diastolische Volumen an der ACC signifikant vermindert. Das kompensatorische erhöhte Schlagvolumen führte aber nur zu einer tendenziellen Erhöhung des systolischen Blutflussvolumens der Arteria carotis communis. Die Veränderung des diastolischen Blutflussvolumenanteils an einem herznahen Gefäß wurde schon früher als ausgezeichneter Indikator einer kardialen Dysfunktion gesehen (Weskott und Holsing 1998).

Es konnte gezeigt werden, dass sich nahezu alle hämodynamischen Parameter der ACC des Pferdes aufgrund kardialer Störungen verändern. Auch konnte gezeigt werden, dass bei Pferden mit Klappeninsuffizienzen des linken Herzens ohne positive Befunderhebung mittels M-Mode und B-Mode, also ohne im Einzelfall erkennbare Dilatationen oder sonstige morphologische Veränderungen, hämodynamische Veränderungen im Blutfluss der ACC widerspiegeln. Dabei scheinen Mitralklappeninsuffizienzen schwerwiegendere Folgen als Aortenklappeninsuffizienzen auf den kardialen Status zu haben, wenn man die Ergebnisse der Blutflussvoluminmessungen betrachtet.

Zur Verwendung der vorgestellten Methode als Diagnostikum muss einschränkend gesagt werden, dass sie nur unter streng standardisierten Bedingungen einsetzbar ist und besondere Kenntnisse in der Strömungslehre voraussetzt. Die vorgestellte Methode eignet sich zur Quantifizierung des Schweregrades einer Herzerkrankung, zur Erhebung von Befunden, wenn die echokardiographische Untersuchung nicht diagnostisch auswertbar durchgeführt werden kann (Adipositas, großer Brustumfang) und als diagnostisches Hilfsmittel bei der Untersuchung von Leistungsminderungen. Außerdem ist die Methode als sehr empfindlicher Spiegel der hämodynamischen Verhältnisse am linken Herzen, zur Verlaufskontrolle auch bei einer medikamentösen Therapie geeignet. Die Diagnose einer Kardiopathie sowie ihres Schweregrades kann jedoch nicht alleine anhand der Messungen an der Karotis und nicht durch einzelne Parameter gestellt werden. Es bedarf vielmehr der Kombination geeigneter Beurteilungskriterien, die in einem sinnvollen Zusammenhang zueinander stehen. Als wenig zeitaufwendig ist die dopplersonographische Untersuchung der Arteria carotis communis des Pferdes als ein sinnvolles additives Diagnostikum in der kardialen Untersuchung des Pferdes anzusehen.

Literatur

- Atkins C. E. und P. S. Snyder (1992) Systolic time intervals and their derivatives for evaluation of cardiac function. *J. Vet. Int. Med.* 6, 55-63.
- Van Bel F., P. Steendijk, D. F. Teitel, P. De Winter, E. T. Van Der Velde und J. Baan (1992) Cerebral blood flow velocity: the influence of myocardial contractility on the velocity waveform of brain supplying arteries. *Ultrasound in Med. & Biol.* 18, 441-449
- Carlsten J. C. (1987) Two-dimensional, real-time echocardiography in the horse. *Vet. Radiol.* 28, 76-87
- Cipone M., M. Pietra, G. Gandini, A. Boari, C. Guglielmini und M. Venturoli (1997) Pulsed wave-Doppler ultrasonographic evaluation of the carotid artery in the resting horse : physiological data. *Vet. Radiol. & Ultrasound* 38, 200-206
- Gardin J. M., L. T. Iseri, U. Elkayam, J. Tobis, W. Childs, C. S. Burn und W. L. Henry (1983) Evaluation of dilated cardiomyopathy by pulsed Doppler echocardiography. *Am. Heart J.* 106, 1057-65.
- Gehlen H., P. Stadler und E. Deegen (1998A) Vorschlag zur Standardisierung der Untersuchung von herzkranken Warmblutpferden mit einem kardiologischen Beurteilungssystem. *Pferdeheilkunde* 14, 107-114
- Gehlen H., P. Stadler und E. Deegen (1998B) Beurteilung des Schweregrades von Mitralklappeninsuffizienzen beim Pferd mittels Farbdoppler-Echokardiographie. *Pferdeheilkunde* 14, 303-314
- Gehlen H., S. Marnette und P. Stadler (2005) Stressechokardiographie beim Warmblutpferd: aktive Stressinduktion durch Laufband- und Longenbelastung. *Pferdeheilkunde* 21, 303-310
- Gill R. W. (1979) Pulsed Doppler with B-Mode imaging for quantitative blood flow measurements. *Ultrasound in Med. & Biol.* 5, 223-235
- Höch M. (1995) Farbkodierte Doppler-Echokardiographie beim Pferd. *Vet. Med. Diss. Hannover*
- Ishikawa K., H. Buggs, R. Sarma, H. Tillmanns, J. M. Fauvel, J. H. Getzen, J. L. Johnson und R. J. Bing (1975) Blood flow velocity in the carotid artery as a measure of myocardial contractility. *Jpn. Heart J.* 16, 22-35
- Jue J., T. Winslow, M. Ossipov, M. D. Lesh und N. B. Schiller (1993) Effect of preexcitation on Doppler Indexes of Left Ventricular Filling. *Am. J. Cardiol.* 71, 1462-1464
- Kroker K. (1994) B-Mode-, M-Mode- und Doppler-Echokardiographie unter Einfluß von Detomidin beim Pferd. *Vet. Med. Diss. Hannover.*
- Lewis R. P., S. E. Rittgers, W. F. Forester und H. Boudoulas (1977) A critical review of the systolic time intervals. *Circulation* 56, 146-58
- Long K. J. (1990) Doppler echocardiography in the horse. *Equine Vet. Educ.* 2, 15-17
- Long K. J., J. D. Bonagura und P. G. Darke (1992) Standardised imaging technique for guided M-mode and Doppler echocardiography in the horse. *Equine Vet. J.* 24, 226-235
- Long K. J. (1992) Two-dimensional and M-Mode echocardiography. *Equine Vet. Educ.* 4, 303-310
- Mense Y. B. (2007) Angiographische Untersuchungen hämodynamischer Auswirkungen an herznahen Gefäßen bei Pferden mit Pneumopathien. *Vet. Med. Diss. Berlin*
- Oltmanns de Tapia A. (2007) Duplex-Dopplersonographische Messungen renaler Blutflüsse bei Pferden als Parameter zur Frühdiagnostik von Nierenfunktionsstörungen. *Vet. Med. Diss. Berlin*
- Patteson M. W., C. Gibbs, P. R. Wotton und P. J. Cripps (1995) Echocardiographic measurements of cardiac dimensions and indices of cardiac function in normal adult Thoroughbred horses. *Equine Vet. J. Suppl.* 19, 18-27
- Radü I. (1995) Beurteilung der Herzgeräusche beim Pferd mit Hilfe der B-Mode und M-Mode-Echokardiographie ergänzt durch konventionelle Dopplerverfahren. *Vet. Med. Diss. Hannover*
- Ranke C., P. Hendrickx, U. Roth, F. Brassel, A. Creutzig und K. Alexander (1992) Color and conventional image-directed Doppler ultrasonography: accuracy and sources of error in quantitative blood flow measurements. *J. Clin. Ultrasound* 20, 187-93

- Reef V. B., K. Lalezari, J. De Boo, A. J. van der Belt, P. A. Spencer und K. J. Dik (1989) Pulsed-wave Doppler evaluation of intracardiac blood flow in 30 clinically normal Standardbred horses. *Am. J. Vet. Res.* 50, 75-83
- Rizzo R. J., G. Sandager, P. Astleford, K. Payne, L. Peterson-Kennedy, W. R. Flinn und J. S. T. Yao (1990) Mesenteric flow velocity variations as a function of angle of insonation. *J. Vasc. Surg.* 11, 688-694
- Schmitz R. R. (2000) Dopplersonographische Untersuchungen beim Pferd zum Einfluss kardialer und pulmonaler Befunde auf die Hämodynamik der Arteria carotis communis. *Vet. Med. Diss. München*
- Schmucker N. (1997) Duplexsonographische Untersuchungen kopfversorgender Gefäße beim Pferd unter Halothan-Narkose in verschiedenen Lagerungen. *Vet. Med. Diss. Univ. Bern*
- Schöning M., J. Walter und P. Scheel (1994) Estimation of cerebral blood flow through colour duplex sonography of the carotid and vertebral arteries in healthy adults. *Stroke* 25, 17-22
- Senn D. F. (1994) Duplexsonographische Untersuchungen an Arterien der Vordergliedmaße des gesunden Pferdes. *Vet. Med. Diss. Univ. Bern*
- Stadler P., U. D'Agostino und E. Deegen (1988) Methodik der Schnittbildechokardiographie beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 4, 161-174
- Stadler P., T. Weinberger, N. Kinkel und E. Deegen (1992): B-Mode, M-Mode- und dopplersonographische Befunde bei der Mitralklappeninsuffizienz des Pferdes. *Zbl. Vet. Med. A* 39, 704-718
- Stadler P., A. Rewel und E. Deegen (1993) Die M-Mode Echokardiographie bei S-Dressur-, S-Springpferden und bei untrainierten Pferden. *Zbl. Vet. Med. A* 40, 292-306
- Stadler P., T. Weinberger und E. Deegen (1993) Echokardiographische Messungen im gepulsten Dopplerverfahren (PW) beim gesunden Warmblutpferd. *Zbl. Vet. Med. A* 40, 757-778
- Stadler P., M. Höch, B. Frühauf und E. Deegen (1995B) Die echokardiographische Untersuchung bei Pferden mit Aortenregurgitationen mit und ohne Herzgeräusch. *Pferdeheilkunde* 11, 373-383
- Stadler P. und F. Robine (1996). Die Kardiometrie beim gesunden Warmblutpferd mit Hilfe der Schnitbildechokardiographie im B-Mode. *Pferdeheilkunde* 12, 35-43
- Taylor K. J. W. (1995) Clinical applications of carotid Doppler ultrasound. In: Taylor K. J. W., P. N. Burns, P. N. T. Wells „Clinical applications of Doppler ultrasound“, 2. Auflage, Raven Press, New York
- Warmerdam Ebert P. L. (1998) Ultrasonography of the femoral artery in six normal horses and three horses with thrombosis. *Vet. Radiol. & Ultrasound* 39, 137-141
- Weinberger T. (1991) Doppler-Echokardiographie beim Pferd. *Vet. Med. Diss. Hannover*
- Weskott H. P. und K. Holsing (1998) US-based evaluation of hemodynamic Parameters in the common carotid artery: a normogram trial. *Radiology* 205, 353-359
- Young L. E., K. Rogers und J. L. N. Wood (2005) Left ventricular size and systolic function in thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. *J. Appl. Physiol.* 99, 1278-1285
- Zierler B. K., T. R. Kirkman, L. W. Kraiss, W. G. Reiss, J. R. Horn, L. A. Bauer, A. W. Clowes und T. R. Kohler (1992) Accuracy of duplex scanning for measurement of arterial volume flow. *J. Vasc. Surg.* 16, 520-526

Dr. Robert R. Schmitz
Klinik für Pferde
der Freien Universität Berlin
Oertzenweg 19B, 14163 Berlin
schmitz.robert@vetmed.fu-berlin.de