

Gewebedopplerechokardiographische Untersuchung bei Pferden mit Vorhofflimmern in Ruhe und nach Belastung

Heidrun Gehlen¹, Charlotte Iversen² und Peter Stadler²

Klinik für Pferde, Tierklinisches Department, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München¹ und Klinik für Pferde, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover²

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden insgesamt 35 Pferde untersucht. 15 Pferde zeigten Vorhofflimmern und 20 Warmblutpferde wurden als gesunde Kontrollgruppe herangezogen. Bei allen Probanden wurde neben einer klinischen Allgemeinuntersuchung und einer speziellen Untersuchung des Herz-Kreislaufapparates eine echo- und elektrokardiographische Voruntersuchung durchgeführt. Ausserdem erfolgte eine spezielle gewebedopplerechokardiographische Untersuchung, mit Erhebung der Myokardgeschwindigkeiten des linken Ventrikels (VIC = Spitzengeschwindigkeit der isovolumetrische Kontraktion; VS = Spitzengeschwindigkeit der systolischen Kontraktion; VE = Spitzengeschwindigkeit der frühdiaistolischen Relaxation; VA = Spitzengeschwindigkeit der spätdiaistolische Relaxation) sowohl in Ruhe als auch nach Belastung. Dazu wurde das Herz in der kurzen Achse von rechts kaudal (Querschnitt) sonographisch untersucht und der Ventrikel direkt unterhalb der Mitralklappenebene dargestellt. Die Eindringtiefe des Ultraschallgerätes betrug 28 cm, der Bildwinkel etwa 70° und die Bildrate mindestens 60fps. In dieser Darstellung wurden das interventrikuläre Septum sowie die linksventrikuläre Hinterwand sowohl im PW-Gewebedopplermodus als auch im Farbgewebedopplermodus (TVI) mit einer Frequenz von 0,4 kHz analysiert. Neben der Untersuchung in Ruhe wurde bei allen Pferden unmittelbar nach einer standardisierten Longenbelastung (5 Minuten im Schritt, 10 Minuten Trab und 5 Minuten Galopp) eine gewebedopplerechokardiographische Untersuchung durchgeführt. Bei der echokardiographischen Voruntersuchung zeigten die Pferde mit Vorhofflimmern im Vergleich zu den gesunden Pferden sowohl einen hoch signifikant vergrößerten linken Vorhof ($p < 0,0001$) als auch einen signifikant vergrößerten linken Ventrikel ($p < 0,005$). Außerdem war der rechte Vorhof ($p < 0,001$) und auch der rechte Ventrikel bei den Pferden mit Vorhofflimmern hoch signifikant größer als bei den gesunden Kontrollpferden ($p < 0,001$). Bei der gewebedopplerechokardiographischen Untersuchung zeigten ein Teil der Pferde mit Vorhofflimmern in manchen Herzzyklen ein Fehlen der A-Welle. Bei den übrigen Pferden mit Vorhofflimmern waren die Myokardgeschwindigkeiten zum Zeitpunkt der spätdiaistolischen Relaxation im Vergleich zu den gesunden Pferden signifikant verringert. Die übrigen Myokardgeschwindigkeiten in Ruhe waren im Gegensatz dazu signifikant höher als bei den gesunden Kontrollpferden. Die ermittelten Myokardgeschwindigkeiten nach Belastung zeigten eine signifikant höhere systolische Spitzengeschwindigkeit bei den Pferden mit Vorhofflimmern als bei den gesunden Pferden.

Schlüsselwörter: Pferd, Echokardiographie, Gewebedoppler, Vorhofflimmern, Stressechokardiographie

Tissue Doppler echocardiographic examinations at rest and after exercise in horses with atrial fibrillation

Within this Study 35 warmblood horses were examined. 15 of the horses showed atrial fibrillation. 20 warmblood horses without pathologic findings of the heart were taken as control. A clinical examination, electro- and echocardiographic examination was performed with all horses of the study. In addition to the standard examinations the myocardium was analysed using Tissue Doppler echocardiography. The myocardial velocity of the left ventricle free wall and of the septum was evaluated in the short axis of the heart. Following velocities points were measured: peak systolic velocity (Vs), peak velocity at the isovolumetric contraction (Vic), early diastolic velocity (Ve) and late diastolic velocity (Va). The myocardial velocities were evaluated at rest and after a standard lunge exercise. To measure the myocardial velocities the heart was examined in the short axis from the right side of the horse directly underneath the level of the mitral valves at the high of the papillary muscles with a maximal depth of 28 cm, an angle of 70° and 60 fps. The regions of interest were the free wall of the left ventricle and the septal wall. The exercise examination was performed after a standard lunge exercise (5 minutes of walk, 10 minutes of trot and 5 minutes canter). The horses with atrial fibrillation showed a highly significant dilatation of the left atrium ($p < 0,0001$) and ventricle ($p < 0,005$). The right atrium ($p < 0,001$) and right ventricle ($p < 0,001$) were also significant enlarged in comparison to the horses without pathologic findings of the heart. In the evaluation of the myocardial velocities obtained with the tissue velocity imaging some of the horses with atrial fibrillation didn't showed any late diastolic wave ($n=12$). In the cases a late diastolic wave could be detected the amplitude of the waves were significant lower than the late diastolic waves of the horses without pathologic findings of the heart. In contrast to the late diastolic wave, the remaining measured velocities were significant higher in the horses with atrial fibrillation in comparison to the horses without pathologic findings of the heart. After exercise the peak systolic velocities of the horses with atrial fibrillation were significant higher than in the horses without pathologic findings of the heart.

Keywords: horse, echocardiography, tissue velocity imaging, atrial fibrillation, stress- echocardiography

Einleitung

Neben der klinischen Untersuchung können beim Pferd insbesondere mit der Echokardiographie zusätzliche Herzbefunde (z.B. Klappeninsuffizienzen) oder Folgen bzw. Ursachen des Vorhofflimmerns (z.B. Vorhofdilatationen) aufgedeckt werden. Untersuchungen mittels der Gewebedopplerechokardio-

graphie sind in der Humanmedizin bereits etabliert, während sie in der Veterinärmedizin erst in den letzten Jahren lediglich experimentell angewendet wurden. In der Pferdemedizin sind bisher Untersuchungen an gesunden Pferden (Sepulveda et al. 2005), an Pferden mit Klappenerkrankungen und/oder Vorhofflimmern (Spieker 2006) und vor und nach Kardioversion (Schwarzwald et al. 2007) vorgenommen worden.

Vorhofflimmern gehört beim Pferd zur häufigsten pathologischen Herzrhythmie und kann entweder einen erheblichen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit haben oder ohne Leistungsbeeinträchtigung auftreten. Um die Auswirkung des Vorhofflimmerns auf die Leistungsfähigkeit zu beurteilen, sind Untersuchungen der Myokardfunktion in Ruhe und unter Belastung erforderlich. Für diese Untersuchungen bietet sich die Gewebedopplerechokardiographie an. Damit ist nicht nur die Myokardgeschwindigkeit und -verformung sondern auch die systolische und die diastolische Herzfunktion evaluierbar.

Untersuchungen mittels Gewebedopplerechokardiographie nach Belastung sind in der Pferdemedizin bisher nicht beschrieben. Ziel dieser Arbeit war es daher, echokardiographische Untersuchungen mittels der neuen Gewebedopplertechnik bei Warmblutpferden mit Vorhofflimmern anzufertigen und erstmals die Methode beim Pferd auch unter Belastung durchzuführen. Die stressechokardiographische Untersuchung spielt vor allem bei Pferden eine bedeutende Rolle, da bei dieser Tierart das Ausmaß einer eventuellen Leistungsbeeinträchtigung meistens erst nach einer Belastung ausreichend beurteilt werden kann.

Material und Methode

Probandengut

Es wurden in dieser Studie insgesamt 35 Warmblutpferde untersucht. 15 Pferde zeigten Vorhofflimmern und 20 Warmblutpferde ohne Erkrankung des Herz-Kreislaufs-Apparates wurden als Kontrollgruppe herangezogen. Bei allen Probanden wurde der Vorbericht erhoben, eine klinische Allgemeinuntersuchung, eine klinische und weiterführende echo- und elektrokardiographische Diagnostik sowie eine spezielle gewebedopplerechokardiographische Untersuchung in Ruhe und nach Belastung durchgeführt.

Echo- und Elektrokardiographische Voruntersuchung

Bei allen Pferden wurde eine echokardiographische Voruntersuchung mittels der B-Mode, M-Mode und Farbdoppler durchgeführt. Die Dimensionen des Herzens wurden enddiastolisch im B-Mode sowie im M-Mode vermessen (Stadler et al. 1988, Stadler und Robine 1996, Gehlen und Stadler 2002). Zusätzlich wurden alle Klappen mittels Farbdoppler untersucht, um eventuelle Rückflüsse zu erfassen und deren Geschwindigkeit mit dem CW-Doppler zu messen.

Anschließend erfolgte eine spezielle gewebedopplerechokardiographische Untersuchung des linken Ventrikels in Ruhe sowie nach standardisierter Longen-Belastung (Stressechokardiographie). Dabei wurde das Herz in der kurzen Achse von rechts kaudal (Querschnitt) und der Ventrikel direkt unterhalb der Mitralklappenebene dargestellt. Die Eindringtiefe des Ultraschallgerätes betrug 28 cm und der Bildwinkel etwa 70°. Bei dieser Einstellung wurde eine Bildrate von mindestens 60bps erreicht. Als Analysebereich wurden das interventrikuläre Septum sowie die linksventrikuläre Hinterwand gewählt. Der linke Ventrikel wurde mittig im Bild positioniert, um Winkelabweichungen gering zu halten. Wenn der Ventrikel bei einer Eindringtiefe von 28 cm nicht gesamthaft erfasst

werden konnte, wurde der Bildwinkel verringert und die Eindringtiefe vergrößert, um eine Bildrate von über 60 bps zu erhalten. In der PW-Gewebedoppleruntersuchung wurde das Messtor (sample volume) zum einen in das interventrikuläre Septum und zum anderen in die linksventrikuläre Hinterwand positioniert. Der Farbgewebedopplermodus (TVI) wurde über das B-Mode-Bild projiziert und mit einer Frequenz von 0,4 kHz untersucht. Von jedem Analysebereich wurden mindestens 6 Herzzyklen aufgenommen.

Alle echokardiographischen Untersuchungen wurden mit dem Ultraschallgerät „Vivid 7“ (Fa GE Ultrasound General Electric Norway) durchgeführt. Dabei wurde ein 2,5 MHz Annular Phased-Array Schallkopf verwendet. Alle Daten wurden als Einzelbilder oder Cineloops (Bildschleifen) auf der internen Festplatte des Gerätes gespeichert und anschließend auf CD oder DVD gesichert. Die anschließende Analyse der aufgenommenen Daten erfolgte offline am Arbeitsplatz mit der EchoPac®-Software (Version 6.3). Parallel zur echokardiographischen Untersuchung erfolgte eine Darstellung der bipolaren Brustwandableitung auf dem Ultraschallmonitor.

Stressechokardiographische Untersuchungen

Alle Probanden wurden standardisiert zunächst 5 Minuten im Schritt geführt, danach 10 Minuten im fleißigen Trab und 5 Minuten im fleißigen Galopp longiert. Dabei wurden der Radius des Longierzirkels und die Anzahl der Runden dokumentiert, um die Durchschnittsgeschwindigkeit zu errechnen. Unmittelbar nach der Belastung erfolgte eine gewebedoppler-echokardiographische Untersuchung, bei der zeitgleich ein Elektrokardiogramm aufgezeichnet wurde. Dabei wurde die Herzfrequenz zu Beginn und zum Ende der Untersuchung festgehalten. Als minimaler Wert zu Beginn der Untersuchung wurde eine Herzfrequenz von 100 Schlägen pro Minute angestrebt. Die gewebedopplerechokardiographische Untersuchung nach Belastung erfolgte analog zur Ruheuntersuchung.

Offline-Analyse der Untersuchungsdaten

Bei der Analyse der aufgezeichneten Daten wurden die Farbgewebedoppler-Herzzyklen in der Auswertungssoftware aufgerufen. Dabei wurde die Messbereich (sample volume) in dem zu untersuchenden Bereich positioniert und die dazugehörige Geschwindigkeitskurve angezeigt. Durch nachträgliches Positionieren der Messzelle wurde gewährleistet, dass die Messzelle bei stärkeren Eigenbewegungen des Herzens, z.B. bei der stressechokardiographische Untersuchung, im Analysebereich verblieb.

Bei den Geschwindigkeitskurven wurden mit Hilfe des EKG's als Referenz folgende Werte ermittelt:

- VIC=Spitzengeschwindigkeit der isovolumetrischen Kontraktion
- VS Spitzengeschwindigkeit der systolischen Kontraktion
- VE Spitzengeschwindigkeit der frühdiastolischen Relaxation
- VA Spitzengeschwindigkeit der spätdiastolischen Relaxation

Es erfolgte die Bestimmung der Myokardgeschwindigkeiten zu den oben aufgeführten Zeitpunkten. Dabei hatten die Geschwindigkeiten während der Systole im Bereich des interventrikulären Septums einen negativen und während der Diastole einen positiven Wert. Im Bereich der linksventrikulären Hinterwand verhielt es sich umgekehrt. Die Messpunkte wurden mit Hilfe des gleichzeitig aufgezeichneten EKGs identifiziert. Die isovolumetrische Kontraktion konnte in vielen Fällen im Bereich des interventrikulären Septums nicht eindeutig identifiziert werden, so dass bei der anschließenden statistischen Analyse nur die systolische Spitzengeschwindigkeit angegeben wurde.

Statistische Auswertung

Bei allen Pferden wurden die Messwerte aus fünf Herzzyklen sowie der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt. Die Daten wurden statistisch mit dem Computerstatistikprogramm SAS ausgewertet. Dabei wurde auf Normalverteilung geprüft. Normal verteilte Daten wurden mit einem gepaarten T-Test analysiert. Nicht normal verteilte Daten wurden mittels Wilcoxon-Test analysiert. Die Abhängigkeit der ermittelten Myokardgeschwindigkeiten von evtl. gleichzeitig vorhandenen Dilatationen oder Klappenerkrankungen wurde mit Hilfe des REGWQ-Test auf signifikante Unterschiede untersucht. Es erfolgte zusätzlich eine Analyse auf Zusammenhänge der ermittelten Werte mit Gewicht und Größe des Pferdes mittels Varianzanalyse. Für die Irrtumswahrscheinlichkeit p wurden folgende Signifikanzstufen festgelegt:

$p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)
 $p \leq 0,01$ = signifikant (**)

$p \leq 0,05$ = schwach signifikant (*)
 $p > 0,05$ = nicht signifikant (n.s.)

Ergebnisse

Das Durchschnittsalter der zwanzig gesunden Warmblutpferde (15 Wallache und fünf Stuten) betrug $11,3 \pm 5$ Jahre (3 - 20 Jahre), das mittlere Gewicht $605,3 \pm 72,3$ kg (435 - 705 kg) und die mittlere Größe $168,1 \pm 5,3$ cm (158 - 180 cm) im Stockmaß. Das Durchschnittsalter der 15 Pferde mit Vorhofflimmern (12 Wallache, 2 Hengste, 1 Stute) betrug $10,13$ Jahre (3 - 18 Jahre), das mittlere Gewicht $597,93$ kg (497 - 705 kg) und die mittlere Größe $173,13$ (160 - 186 cm) im Stockmaß. Die Stammdaten der untersuchten Pferde mit Vorhofflimmern sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung war bei allen gesunden Probanden unauffällig. Die mittlere Ruheherzfrequenz bei der Untersuchung lag bei den gesunden Pferden bei 35 ± 3 Schlägen pro Minute. Bei den Pferden mit Vorhofflimmern lag auskultatorisch eine totale Arrhythmie vor. Zusätzlich zeigten 8 Pferde ein systolisches Herzgeräusch (5 Pferde mit P.m. (Punktum maximum) über der Mitralklappe, 3 Pferde mit P.m. über Mitralklappen- und Triskupidalklappe). Die mittlere Ruheherzfrequenz war bei den Pferden mit Vorhofflimmern mit 45 ± 3 Schlägen pro Minute signifikant höher als bei den gesunden Pferden.

Tab. 1 Stammdaten der Pferde mit Vorhofflimmern / *Base values of the Horses with atrial fibrillation*

Legende zu Tabellen 1-7: S = Stute, W = Wallach, H = Hengst; VF = Pferde mit Vorhofflimmern; n.s. = nicht signifikant; HF = Herzfrequenz, n. Bel. = nach Belastung, FS = Fractional Shortening; RKDLA = rechte kaudale lange Herzachse; LVW = linke freie Ventrikelwand; LV = linker Ventrikel; LA = linkes Atrium; D = diastolisch, S = systolisch; RKRLA = rechte kraniale lange Herzachse; LKDLA = linke kaudale lange Herzachse, PW = gepulster Farbgewebedoppler; TVI = Farbgewebedoppler, E Welle = frühdiastrische Myokardgeschwindigkeit; A Welle = spätdiastrische Myokardgeschwindigkeit.

Legend to table 1-7: S = mare, W = gelding, H = stallion, VF = horses with atrial fibrillation, n.s. = not significant, HF = heart rate, n. Bel. = after exercise, FS = fractional shortening, RKDLA = long-axis image from the right thorax, LVW = left ventricle wall, LV = left ventricle, LA = left atrium, D = diastolic, S = systolic, RKRLA = cranial long-axis from the right thorax, LKDLA = long-axis from the left thorax, PW = pulsed-wave tissue Doppler, TVI = colour tissue Doppler, E Welle = early diastolic wave, A Welle = late diastolic wave

Nr	Rasse	Gewicht (kg)	Stockmaß (cm)	Alter (Jahre)	Geschlecht
1	Hannoveraner	515	164	3	H
2	Hannoveraner	497	168	16	S
3	Hannoveraner	702	186	9	W
4	WB	705	185	6	W
5	Hannoveraner	675	184	9	W
6	Trakhener	480	160	17	W
7	Oldenburger	605	184	7	W
8	Orlow-Traber	537	160	17	H
9	Rheinland	620	176	12	W
10	Hannoveraner	605	175	8	W
11	Westfale	660	177	12	W
12	Hannoveraner	520	163	3	W
13	Hannoveraner	650	182	12	W
14	Oldenburger	575	168	3	W
15	WB	620	165	18	W

Echokardiographische Voruntersuchung

Die Dimensionen des Herzens waren bei den Pferden ohne Erkrankung des Herz-Kreislauf-Apparates im Normbereich. Bei der Farbdoppleruntersuchung des Herzens zeigten zwei dieser Pferde klappenschlussassoziierte physiologische Regurgitationen an den Aortenklappen, und ein Pferd physiologische Regurgitationen an der Triskupidalklappe und an der Pulmonalklappe. Bei den Pferden mit Vorhofflimmern waren bei 8 Pferden mit der Farbdopplerechokardiographie Mitralklappeninsuffizienzen darstellbar. Drei der 8 Pferde zeigten zusätzlich pathologische Rückflüsse an der Trikuspidalklappe.

Die Pferde mit Vorhofflimmern zeigten im Vergleich zu den gesunden Pferden sowohl einen hoch signifikant vergrößerten linken Vorhof ($p < 0,0001$) als auch einen signifikant vergrößerten linken Ventrikel ($p < 0,005$). Außerdem waren der rechte Vorhof ($p < 0,001$) und der rechte Ventrikel bei den Pferden mit Vorhofflimmern hoch signifikant größer als bei den gesunden Kontrollpferden ($p < 0,001$) (Tabelle 2).

Gewebedopplerechokardiographische Untersuchung in Ruhe

Bei der gewebedopplerechokardiographischen Untersuchung konnte die spätdiastolische Myokardgeschwindigkeit in der interventrikulären Septums noch in der linksventrikulären Hinterwand aufgrund von Verschmelzungen der A-Welle mit der E-Welle oder Fehlen der A-Welle zuverlässig bestimmt werden. Bei den übrigen drei Pferden mit Vorhofflimmern waren die Myokardgeschwindigkeiten im Vergleich zu den gesunden Pferden zum Zeitpunkt der spätdiastolischen Relaxation signifikant verringert. In den übrigen Phasen des Herzzyklus war die Myokardgeschwindigkeit in Ruhe bei den Pferden mit Vorhofflimmern signifikant höher als bei den gesunden Kontrollpferden (s. Tab. 3 und 4).

Tab. 2 Herzdimensionen der gesunden Pferde und der Pferde mit Vorhofflimmern
Cardiac dimensions of the horses without pathological findings of the heart in comparison with the horses with atrial fibrillation

Parameter (mm)	gesund	VF
RKDLA-RVW	17,60 ± 2,86	16,15 ± 2,54
RKDLA-Septum	32,96 ± 4,59	30,63 ± 4,88
RKDLA-LVW	26,55 ± 4,01	25,78 ± 4,97
RKDLA-LV (PM)	83,45 ± 11,40	94,25 ± 12,69
RKDLA-LV (uKI)	110,29 ± 13,79	126,58 ± 12,43
RKDLA-LA (KI)	104,71 ± 7,47	117,99 ± 13,86
RKDLA-LA	102,29 ± 8,21	126,29 ± 18,13
RKDLA-RA	71,66 ± 11,46	83,98 ± 12,23
RKDLA-Aorta	77,07 ± 5,64	82,04 ± 7,70
RKDKA-D	33,63 ± 3,65	31,17 ± 4,43
RKDKA-S	46,32 ± 5,86	46,87 ± 7,64
RKRLA-RA	78,49 ± 6,63	90,80 ± 10,96
RKRLA-RV	66,38 ± 7,17	74,97 ± 7,66
RKRLA-Pu	60,61 ± 4,90	65,56 ± 8,17
LKDLA-LA	121,57 ± 9,30	143,01 ± 18,63
RKDKA-FS (%)	40,36 ± 7,51	43,52 ± 8,35

Longenbelastung der Pferde

Die Longenbelastung wurde von den gesunden Pferden problemlos absolviert. Bei vier der 15 Pferde mit Vorhofflimmern musste die Belastung aufgrund von vorzeitiger Ermüdung abgebrochen werden (Parameter der Belastungsuntersuchung s. Tab. 5).

Stressechokardiographische Gewebedoppler-Untersuchung

Bei der stressechokardiographischen Untersuchung konnte bei vier gesunden Pferden im PW-Gewebedopplermodus und bei acht gesunden Pferden im Farbgewebedopplermodus die Messung der A-Welle aufgrund einer fehlenden Abgrenzung zur E-Welle nicht erfolgen. Das Myokard zeigte bei den Pferden mit Vorhofflimmern nach Belastung eine signifikant höhere systolische Spitzengeschwindigkeit als bei den gesunden. (s. Tab. 6 und 7).

Tab. 3 Myokardgeschwindigkeiten im Bereich des interventrikulären Septums bei Pferden mit Vorhofflimmern im Vergleich zu Pferden ohne Herzbefund mittels PW-Gewebedoppler (PW) und Farbgewebedoppler (TVI)

Myocardial velocities at rest measured in the region of the interventricular septum of the horses with atrial fibrillation in comparison to the horses without pathological findings of the heart

Parameter	gesund	VF	p-Wert
PW Systole cm/s	-8,36 ± 1,78	-12,16 ±	$p < 0,0001$
PW E-Welle cm/s	17,06 ± 3,85	22,44 ±	$p < 0,005$
PW A-Welle cm/s	5,98 ± 2,52	4,22 ± 2,60	$p > 0,05$
TVI Systole cm/s	-3,92 ± 1,54	-6,66 ± 3,26	$p < 0,0001$
TVI E-Welle cm/s	12,34 ± 2,91	16,70 ±	$p < 0,001$
TVI A-Welle cm/s	2,86 ± 1,92	2,13 ± 0,74	$p > 0,05$

Tab. 4 Myokardgeschwindigkeiten im Bereich der linksventrikulären Hinterwand der Pferde mit Vorhofflimmern im Vergleich zu den Pferden ohne Herzbefund mittels PW-Gewebedoppler (PW) und Farbgewebedoppler (TVI)

Myocardial velocities at rest measured in the region of the free wall of the left ventricle of the horses with atrial fibrillation in comparison to the horses without pathological findings of the heart

Parameter	gesund	VF	p-Wert
PW Systole cm/s	11,15 ±	15,48 ± 4,78	$p < 0,0005$
PW E-Welle	-25,97 ±	-31,81 ±	$p < 0,01$
PW A-Welle	-10,63 ±	-7,52 ± 3,47	$p < 0,05$
TVI Systole cm/s	7,14 ±	10,03 ± 3,10	$p < 0,0001$
TVI E-Welle	-17,31 ±	-22,25 ±	$p < 0,01$
TVI A-Welle	-7,41 ±	-2,59 ± 1,13	$p < 0,0001$

Tab. 5 Ermittelten Parameter der Belastungsuntersuchung
Measured parameters of the exercise examination

Parameter	Gesund	VF
Trabgeschwindigkeit	3,6 m/s	3,67 m/s
Galoppgeschwindigkeit	5,6 m/s	4,52 m/s
HF n. Bel.	129,7 ± 23,23	128,13 ± 30,74
HF nach Ende d. U.	91,8 ± 21,1	98,47 ± 23,27
FS	42,4 ± 8,5 %	45,97 ± 9,2

Einfluss von Größe und Gewicht auf die gemessenen Werte

Die spätdiastolische Geschwindigkeit der linksventrikulären Hinterwand zeigte zwar eine signifikante Abhängigkeit vom Gewicht (Farbgewebedoppleruntersuchung: $p < 0,001$) und vom Stockmass (PW-Gewebedopplermethode: $p < 0,05$). Der Einfluss des Vorhofflimmerns auf die Geschwindigkeit der untersuchten Herzwandbereiche war jedoch deutlicher (Farbgewebedoppleruntersuchung: $p < 0,0001$ bzw. PW-Gewebedopplermethode: $p < 0,01$).

Diskussion

Die mit der Gewebedopplertechnik gemessenen Myokardgeschwindigkeiten der gesunden Pferde mit physiologischem Herzzyklus zeigten ähnliche Minima und Maxima wie bei gesunden Menschen. So war der Kurvenverlauf in der Systole während der isovolumetrische Kontraktion (VIC) (Anspannung des Ventrikels bei geschlossenen Herzklappen) und während der systolischen Kontraktion (VS), (Austreibungsphase) charakteristisch, reproduzierbar und diagnostisch auswertbar. Die Diastole war insbesondere während der isovolumetrische Relaxation durch die E-Welle und die enddiastolische Ventrikelfüllung durch die A-Welle gekennzeichnet und beurteilbar.

Bei der gewebedopplerechokardiographischen Untersuchung zeigten die Bewegungskurven der meisten Pferde mit Vorhofflimmern ($n = 12$) weder in Ruhe noch nach Belastung eine für herzgesunde Pferde typische A-Welle. Bei einigen dieser Pferde ($n = 3$) trat enddiastolisch lediglich eine minimale Amplitude der Geschwindigkeitskurve auf. Diese wurde als atypische residuale A-Welle angesprochen. Sowohl beim

Menschen als auch in einer weiteren Studie bei Pferden mit Vorhofflimmern (Spieker 2006) wurde zum Zeitpunkt der spätdiastolischen Relaxation häufig eine stark erniedrigte Myokardgeschwindigkeit oder manchmal gar keine A-Welle als Folge reduzierter oder fehlender Vorhofkontraktion festgestellt (Nikitin et al. 2004, Melek et al. 2007). Zusätzlich zur Darstellung von Richtung und Amplitude der Myokardbewegung im M-mode liefert somit die Gewebedopplertechnik weitere detaillierte Informationen zur Herzkinetik und insbesondere zu der immer wieder kontrovers diskutierten Bedeutung der Vorhofkontraktion beim Pferd. Inzwischen besteht weitgehend Einigkeit, dass der Vorhof vor allem in Belastung während der späten Füllung des linken Ventrikels (insbesondere bei höheren Herzfrequenzen) eine bedeutsame Rolle spielt. Bereits in Ruhe werden beim herzgesunden Pferd ca. 15% der Blutfüllung durch die aktive Vorhofkontraktion gewährleistet, bei höheren Herzfrequenzen (d.h. unter Belastung) nimmt dieser Anteil deutlich zu. Deshalb manifestiert sich das Vorhofflimmern beim Pferd klinisch meistens erst in Belastung, bleibt deshalb bei vielen Pferden, die nicht bis an die Leistungsgrenze gearbeitet werden, lange unerkannt und wird nicht selten als Zufallsbefund aufgedeckt.

Bei der Untersuchung des Einflusses von Vorhofflimmern auf die ventrikuläre Funktion zeigte sich, dass beim Menschen mit Vorhofflimmern die diastolische (Melek et al. 2007) und die systolische (Oki et al. 1999) Myokardgeschwindigkeit signifikant verringert war. Nach erfolgreicher Kardioversion nahm die diastolische Myokardgeschwindigkeit innerhalb der darauffolgenden 4 Wochen wieder signifikant zu (Melek et al. 2007). Patienten, die zusätzlich zu Vorhofflimmern eine Dilatation des linken Ventrikels aufwiesen zeigten deutlich niedrigere Myokardgeschwindigkeiten als Patienten mit Vorhofflimmern ohne Dimensionsveränderungen des Herzens.

Tab. 6 Myokardgeschwindigkeiten nach Belastung im Bereich des interventrikulären Septums bei Pferden mit Vorhofflimmern und Pferden ohne Herzbefund erhoben mit dem PW-Gewebedoppler (PW) und dem Farbgewebedoppler (TVI)

Myocardial velocities after exercise measured in the region of the interventricular septum of the horses with atrial fibrillation in comparison to the horses without pathological findings of the heart

Parameter	gesund	VF	p-Wert
PW Systole cm/s	-13,37 ± 3,84	-17,15 ± 3,93	$p < 0,005$
PW E-Welle cm/s	29,92 ± 5,64	29,93 ± 11,37	$p > 0,05$
PW A-Welle cm/s	9,41 ± 4,08	15,99 ± 7,69	$p > 0,05$
TVI Systole cm/s	-7,71 ± 2,75	-10,84 ± 3,20	$p < 0,001$
TVI E-Welle cm/s	22,74 ± 5,59	21,92 ± 8,63	$p > 0,05$
TVI A-Welle cm/s	5,7 ± 4,52	9,04 ± 7,83	$p > 0,05$

Tab. 7 Myokardgeschwindigkeiten nach Belastung im Bereich der linksventrikulären Hinterwand bei Pferden mit Vorhofflimmern im Vergleich zu Pferde ohne Herzbefund mittels PW-Gewebedoppler (PW) und Farbgewebedoppler (TVI)

Myocardial velocities at rest measured in the region of the free wall of the left ventricle of the horses with atrial fibrillation in comparison to the horses without pathological findings of the heart

Parameter	gesund	VF	p-Wert
PW Systole cm/s	13,53 ± 3,66	17,95 ± 3,50	$p < 0,001$
PW E-Welle cm/s	-32,17 ± 6,44	-32,12 ± 9,13	$p > 0,05$
PW A-Welle cm/s	-11,89 ± 4,96	-11,04 ± 5,81	$p > 0,05$
TVI Systole cm/s	10,64 ± 2,79	11,73 ± 2,66	$p > 0,05$
TVI E-Welle cm/s	-21,20 ± 7,35	-23,97 ± 6,99	$p > 0,05$
TVI A-Welle cm/s	-8,62 ± 3,70	-9,97 ± 5,63	$p > 0,05$

Bei Mensch und Pferd haben sich allerdings Unterschiede in Bezug auf die Myokardgeschwindigkeit ergeben: In der vorliegenden und in einer weiteren Studie (Spieker 2006) zeigten Pferde mit Vorhofflimmern im Vergleich zu den Kontrollpferden im Gegensatz zum Menschen sowohl im Bereich des Septums als auch im Bereich der linksventrikulären Hinterwand erhöhte systolische und frühdiastolische Myokardgeschwindigkeiten. Die Ursache dafür könnte ein bereits in Ruhe deutlich höheres Schlagvolumen bei Pferden mit Vorhofflimmern, im Vergleich zu herzgesunden Pferden sein (Sundermann 2006), da die systolische Myokardgeschwindigkeit und damit die E-Welle positiv mit dem Schlagvolumen korreliert ist. Diese Interaktion der Myokardgeschwindigkeit mit dem Schlagvolumen ist allerdings beim Pferd noch nicht untersucht und ist somit ein interessantes.

Ziel zukünftiger Arbeiten, insbesondere zum Vergleich zwischen herzgesunden Pferden und Pferden mit Vorhofflimmern.

In der Humanmedizin erfolgt zur weiterführenden Abklärung kardiologischer Fragestellungen häufig eine stresschokardiographische Untersuchung. Dabei ist die Beurteilung der kontraktiven Reserve besonders bei subklinisch erkrankten Herzpatienten bedeutsam, da die Beurteilung des Schweregrades der Herzerkrankung in Ruhe häufig nicht möglich ist. Die kontraktile Reserve des Herzens steht im Zusammenhang mit dem Schlagvolumen, welches beim gesunden Menschen während und nach der Belastung zunimmt. Nach Belastung war in dieser Studie bei den Pferden mit Vorhofflimmern im Vergleich zu den Pferden ohne Herzbefund lediglich die systolische Myokardgeschwindigkeit signifikant erhöht. Das bedeutet, dass bei Pferden mit Vorhofflimmern bereits bei submaximaler Longenbelastung eine Zunahme der Myokardgeschwindigkeiten erwartet und evtl. in Zukunft diagnostisch bewertet werden kann.

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass die Gewebedopplerechokardiographie beim Pferd interessante zusätzliche Informationen liefert und bei Herzerkrankungen (im vorliegenden Fall Vorhofflimmern) diagnostisch zur Beurteilung der Herzfunktion herangezogen werden kann.

Literatur

Abe M., Oki T., Tabata T., Iuchi A. und Ito S. (1999) Difference in the diastolic left ventricular wall motion velocities between aortic and mitral regurgitation by pulsed tissue Doppler imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 12, 15-21

- Chehboul V., Athanassiadis N. und Carlos C. (2004) Quantification, repeatability and reproducibility of feline radial and longitudinal ventricular velocities by tissue Doppler imaging: repeatability and reproducibility. *Am. J. Vet. Res.* 65, 566-572
- Chehboul V., Athanassiadis N. und Carlos C. (2004) Assessment of repeatability, reproducibility, and effect of anesthesia on determination of radial and longitudinal left ventricular velocities via tissue Doppler imaging in dogs. *Am. J. Vet. Res.* 65, 909-915
- Gehlen H. und Stadler P. (2002) Vorhofflimmern beim Warmblutpferd- Echokardiographie, Therapie, Prognose und Verlauf in 72 Fällen. *Pferdeheilkunde* 18, 530-536
- Melek M., Birdane A., Goktekin O., Ata N., Kilit C., Gorenek B., Cavusoglu Y. und Timuralp B. (2007) The effect of successful electrical cardioversion on left ventricular diastolic function in patients with persistent atrial fibrillation: a tissue Doppler study. *Echocardiography* 1, 34-9
- Nikitin N. P. und Witte K. K. A. (2004) Application of Tissue Doppler Imaging in Cardiology. *Cardiology* 4, 170-184
- Oki T., Iuchi A., Ta T. et al. (1999) Left ventricular systolic wall motion velocities along the long and short axes measured by pulsed tissue Doppler imaging in patients with atrial fibrillation. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 12, 121-28
- Schwarzwald C. C., Schober K. E. und Bonagura J. D. (2007): Methods and reliability of echocardiographic assesment of left atrial size and mechanical function in horses. *Am. J. Vet. Res.* 68, 735-747
- Schwarzwald C. C., Schober K. E. und Bonagura J. D. (2007) Echocardiographic Evidence of Left Atrial mechanical Dysfunction after Conversion of Atrial Fibrillation to Sinus Rhythm in 5 Horses. *J. Vet. Intern. Med.* 21, 820-827
- Sepulveda M. F., Perkins J. D., Bowen I. M. und Marr C. M. (2005) Demonstration of regional differences in equine ventricular myocardial velocity in normal 2-year-old Thoroughbreds with Doppler tissue imaging. *Equine Vet. J.* 37, 222-226
- Spieker E. (2006) Gewebe-Doppler-Echokardiographie beim Pferd: Eine Pilotstudie. *Vet. Med. Diss.* Berlin
- Stadler P., D'agostino U. und Deegen E. (1988) Methodik der Schnittbildechokardiographie beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 4, 161-174
- Stadler P. und Robine F. J. (1996) Die Kardiometrie beim gesunden Warmblutpferd mit Hilfe der Schnittbildechokardiographie im B-Mode. *Pferdeheilkunde* 12, 35-43
- Sundermann T. (2006) Echokardiographische Beurteilung der Herzkinetik in Ruhe und nach aktiver Belastung bei herzkranken Warmblutpferden. *Vet. Med. Diss.* Hannover

Prof. Dr. Heidrun Gehlen
Klinik für Pferde, Tierklinisches Department
Tierärztliche Fakultät der LMU-München
Veterinärstr. 13
80539 München
h.gehlen@lmu.de