

Einfluss des Alters auf echokardiographische B- und M-Mode-Variablen bei juvenilen Warmblutpferden

Heidrun Gehlen und Henrike Luise Lagershausen

Klinik für Pferde, Freie Universität Berlin

Zusammenfassung: In der hier vorliegenden Studie wurden erstmals Fohlen und Jungpferde der deutschen Warmblutrassen echokardiographisch untersucht. Ziel der Arbeit war es einerseits, zu ermitteln, in welchen Normbereichen sich die standardechokardiographischen Variablen befinden und andererseits den Einfluss des Alters und des Wachstums der Pferde auf die Entwicklung dieser echokardiographischen Untersuchungsvariablen zu beleuchten. Als Einflussvariablen wurden das Alter, das Gewicht, die Größe und das Geschlecht, sowie die Herzfrequenz überprüft. Insgesamt wurden in dieser Studie 57 Warmblutpferde im Alter von zwei Wochen bis drei Jahren untersucht, welche in vier Altersgruppen eingeteilt wurden (Fohlen, Jährlinge, Zweijährige, Dreijährige). Die standardechokardiographische Untersuchung wurde im B- und M-Mode durchgeführt. Die Herzfrequenz der Fohlen war signifikant höher als die der anderen drei Gruppen ($p = 0,001$). Alle gemessenen B- und M-Mode-Variablen erhöhten sich von den Fohlen bis hin zu den dreijährigen Pferden mit signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen. Den größten Einfluss auf die Ausprägung der B-Mode-Variablen zeigte das Gewicht. Für die M-Mode-Variablen war der Einfluss von Gewicht und Größe am stärksten. Das Geschlecht zeigte auch vereinzelt signifikante Einflüsse, da aber die Geschlechterverteilung innerhalb der Altersgruppen nicht balanciert war, können diese Effekte zufällig sein. Schlussendlich sprechen die Ergebnisse dafür, dass das Wachstum der Pferde insgesamt einen großen Einfluss auf die Ausprägung der Variablen hat und somit auch das Alter. Der teilweise sehr große Einfluss der Herzfrequenz muss bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden. Auf Grund der schwierigen Datenakquirierung an jungen Fohlen und Pferden in dem hier untersuchten Altersbereich, empfiehlt es sich, die Pferde zu sedieren, um eine geringere Datenvariabilität zu erreichen.

Schlüsselwörter: Warmblut, Echokardiographie, B-Mode, M-Mode, Pferd

Influence of age on echocardiographic B- and M-Mode parameters in juvenile German warmblood horses

In this study young German warmblood horses including foals to three-year-olds were examined by echocardiography for the first time. The aim of this study was to determine the normal range of standard echocardiographic parameters for the different age groups. On the other hand, the influence of age and growth on the development of these echocardiographic parameters was to be evaluated. Tested variables of influence included age, weight, height, and sex as well as heart frequency. A total number of 57 warmblood horses at the age of three weeks to three years was examined, which was divided into 4 age groups (foals, yearlings, two-year-olds and three-year-olds). Standard B- and M-mode echocardiographic examination were performed. The heart rate of the foals was significantly higher compared to other groups ($P = 0.001$). All B- and M-mode parameters increased from foals to three-year-olds with significant changes between the four groups. Weight was detected to be the major impact on the development of the B-mode parameters in these horses. M-mode parameters were particularly influenced by weight and height. Sex had a sporadic impact, but since the distribution of sex in the four age groups was not balanced, the effects could be accidentally. The partially great impact of heart rate must be taken into account when evaluating the data. Due to the difficult acquisition of data in young foals and horses it is recommended to sedate the horses to achieve low data variability.

Keywords: warm blood, cardiac function, echocardiography, B-mode, M-mode, horse

Zitation: Gehlen H., Lagershausen H. L. (2017) Einfluss des Alters auf echokardiografische B- und M-Mode-Variablen bei juvenilen Warmblutpferden. *Pferdeheilkunde* 33, 231-241; DOI 10.21836/PEM20170303

Korrespondenz: Prof. Dr. Heidrun Gehlen, Klinik für Pferde, allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin, Oertzenweg 19b, 14163 Berlin; E-Mail: heidrun.gehlen@fu-berlin.de

Einleitung

Die Größe des Pferdeherzens unterliegt verschiedenen Einflussfaktoren. Neben dem Training spielt natürlich insbesondere bei jungen Pferden auch das Wachstum eine wichtige Rolle. In der vorliegenden Studie sollte ein Überblick darüber gegeben werden, wie sich die standardechokardiographischen Messungen im B- und M-Mode vom Fohlen bis hin zum jungen Warmblutpferd entwickeln und in welchen Intervallen sich die Referenzbereiche dieser Altersgruppen befinden. Für eine sinnvolle Interpretation der mittels der modernen echokardiographischen Methoden erfassbaren Variablen stellt das Wissen über den Normalzustand des gesunden Herzens eine absolut unverzichtbare Grundlage dar. Echokar-

diographische Messungen sind deshalb bereits bei verschiedenen Pferderassen durchgeführt worden (Tab. 1). Für das deutsche Warmblutpferd liegen dazu bisher aber noch keine Studien vor. *Marr* und *Patteson* (2010) haben eine Regressionsgleichung für Vollblutfohlen aufgestellt, die mit Hilfe des Gewichtes einige echokardiografische B- und M-Mode-Variablen von der Geburt bis hin zur 16. Lebenswoche bestimmen kann. Die Standardabweichung wird ebenfalls von *Marr* und *Patteson* (2010) angegeben. Auch einige andere Autoren haben bereits B- und M-Mode-Variablen bei Fohlen verschiedener Rassen erhoben (*Rovira* und *Munoz* 2009, *Collins* et al. 2010, *Matur* und *Gür* 2011). Mit der vorliegenden Studie sollen diese Daten nun auch für das juvenile Warmblutpferd zur Verfügung stehen.

Material und Methoden

Pferde

In die Auswertung der Studie wurden 57 Warmblutpferde verschiedener Rassen (Oldenburger, Hannoveraner, Westfalen und Holsteiner) integriert. Es handelte sich dabei um 33 Hengste und 24 Stuten. Das Alter der Pferde erstreckt sich vom zwei Wochen alten Fohlen bis hin zum dreijährigen Jungpferd. Das Durchschnittsalter (Mittelwert und Standardabweichung) betrug $14,6 \pm 13$ Monate. Die Pferde hatten im Durchschnitt (Mittelwert und Standardabweichung) ein Gewicht von $312,6 \pm 144$ kg (84 bis 620 kg) und einen Größendurchschnitt (Mittelwert und Standardabweichung) von 144 ± 20 cm (112 bis 175 cm).

Vorbericht und Allgemeinuntersuchung

Die Pferde wurden von mehreren Züchtern für die Studie zur Verfügung gestellt. Die Haltung war in allen Ställen ähnlich. Sie bekamen täglichen Weidegang und wurden nach dem Absetzen von der Mutter in kleineren Gruppen mit Altersgenossen zusammen gehalten. Da vor allem die Warmblutpferde in so jungem Alter oft wild und schwer ruhig zu halten sind, wurden nur Pferde für die Studie verwendet, welche das Handling und die Berührungen vom Menschen bereits gewohnt waren. Weiterhin kamen auch Pferde, die in der allgemeinen Untersuchung auffällig waren oder vorberichtlich an Vorerkrankungen litten sowie Tiere, die zum Zeitpunkt der Untersuchung unter Medikation standen, als Probanden für diese Studie nicht in Frage.

Echokardiografische Untersuchung

Zeigten die Pferde während der echokardiografischen Untersuchung ein sehr nervöses Verhalten oder pathologische Herzbefunde, wurden sie von der Studie ausgeschlossen. Die Untersuchungen wurden mit einem transportablen Ultraschallgerät („Vivid i“ der Firma General Electrics (GE) Healthcare, Medical Systems Application Software 6.1.110) und einem 3,5 MHz Phased-Array Schallkopf, mit einer maximalen Eindringtiefe von 30 cm, angefertigt. Die Pferde wurden in ihrer gewohnten Umgebung, in einer ruhigen Box, untersucht. Ein Helfer fixierte das Pferd am Kopf und ein weiterer bediente während der Untersuchung das Gerät, damit es mit einem größeren Sicherheitsabstand zum Pferd aufgestellt werden konnte. Es wurden weder Zwangsmaßnahmen verwendet noch wurden die Pferde sediert. Während der kompletten Ultraschalluntersuchung lief ein an das Gerät gekoppeltes Elektrokardiogramm mit. Die Elektroden wurden für eine bipolare Brustwandableitung mit Hilfe von Krokodilklemmen an der linken Halsseite und ventral am Sternum angebracht.

B- und M-Mode

Für die echokardiografische Untersuchung wurden die Schnittebenen nach Stadler (Stadler 1988, Stadler et al. 1988, Stadler et al. 1993, Stadler und Robine 1996), angewendet, um enddiastolische (in Bezug auf den Herzzyklus bzw. das parallel aufgezeichnete EKG) Dimensionsmessungen vorzunehmen und das Herz und die Klappen morphologisch zu

Tab. 1 Ergebnisse verschiedener Autoren: Vergleich einiger B- und M-Mode-Parameter bei Fohlen verschiedener Rassen im Alter von zwei bis vier Monaten. | *Results of different authors: Comparison of selected 2DE and M-mode parameters in foals of different breeds at the age of two to four months.*

Autor	Collins et al. (2010)	Matur et al. (2011)	Matur et al. (2011)	Rovira et al. (2009)	Rovira et al. (2009)
Geschlecht		Stuten	Hengste	Stuten	Hengste
Rasse	Vollblüter	Vollblüter	Vollblüter	Spanische Pferde	Spanische Pferde
Alter der Pferde	12 Wochen	4 Monate	4 Monate	60-90 Tage	60-90 Tage
Anzahl der Pferde	19	26	18	7	6
Gewicht	$153,8 \pm 10,9$	–	–	109,4	117,8
Größe	–	–	–	–	–
Herzfrequenz	$67,37 \pm 4,36$	$74 \pm 14,9$	$74,5 \pm 20,2$	$83,5 \pm 12,9$	$82,27 \pm 9,97$
LVIDd	$7,11 \pm 0,5$	$7,04 \pm 0,57$	$5,78 \pm 0,63$	$5,52 \pm 0,68$	$6,25 \pm 0,78$
LVPWd	$1,56 \pm 0,21$	$1,49 \pm 0,18$	$1,54 \pm 0,24$	1,84	$1,84 \pm 0,4$
IVSd	$1,9 \pm 0,19$	$2,22 \pm 0,25$	$2,32 \pm 0,21$	k.geschsp. Untersch.	$1,61 \pm 0,2$
LVIDs	$4,88 \pm 0,47$	$4,67 \pm 0,51$	$4,79 \pm 0,62$	$3,61 \pm 0,53$	$4,02 \pm 0,91$
LVPWs	$2,49 \pm 0,34$	$2,62 \pm 0,36$	$2,46 \pm 0,31$	$2,59 \pm 0,32$	$3,13 \pm 0,52$
IVSs	$2,85 \pm 0,26$	$3,07 \pm 0,32$	$3,05 \pm 0,34$	k.geschsp. Untersch.	$2,61 \pm 0,3$
FS%	$32,01 \pm 5,16$	$33,7 \pm 5,1$	$31,6 \pm 4,7$	k.geschsp. Untersch.	$34,4 \pm 7,5$
EF%	–	$60,8 \pm 6,9$	$57,8 \pm 7,0$	k.geschsp. Untersch.	$62 \pm 11,7$
EDV	–	–	–	$171,6 \pm 29,9$	$210 \pm 18,9$
ESV	–	–	–	k.geschsp. Untersch.	$84,9 \pm 11,5$
SV	–	–	–	$86,7 \pm 23,7$	$108 \pm 18,8$
Ao	$4,25 \pm 0,22$	–	–	$4,1 \pm 0,41$	$4,62 \pm 0,54$
LAL	$7,92 \pm 0,41$	–	–	–	–
PV	$3,85 \pm 0,3$	–	–	–	–

begutachten. Mittels der B- und M-Mode-Echokardiographie wurden folgende Variablen erhoben:

Rechte kaudale lange Achse (RKDLA, Vierkammerblick)

- Mitralklappendiameter (MVDia)
- linkes Atrium (LA)
- linker Ventrikel (LV1, LV2)
- linke Wand (LVFW)
- rechte Wand (RVFW)
- Interventrikularseptum (IVS)
- rechtes Atrium (RA) Rechte kaudale lange Achse mit Aorta (RKDLA-AO)
- Sinus valsalve (AoSinVals)

Rechte kraniale lange Achse (RKRLA)

- Trikuspidalklappendiameter (TV)
- rechter Ventrikel (RV)
- Pulmonalklappendiameter (PV) Rechte kaudale kurze Achse (RKDKA)

Aus dem M-Mode

- Interventrikularseptum systolisch / diastolisch (IVSs / IVSd)
- linksventrikulärer innerer Diameter systolisch / diastolisch (LVIDs / LVIDd)
- linksventrikuläre hintere Wand systolisch / diastolisch (LVPWs / LVPWd)
- enddiastolisches Volumen (EDV)
- endsystolisches Volumen (ESV)
- Ejektionsfraktion (EF%)
- Fractional Shortening (FS%)
- Schlagvolumen (SV)

Linke kaudale lange Achse (LKDLA)

- linkes Atrium (LA-L)

Alle Variablen (Tab. 2) wurden dreimal in drei aufeinanderfolgenden Herzzyklen gemessen, um daraus den Mittelwert zu bilden. Die Ergebnisse aus der B- und M-Mode-Untersuchung wurden mit den Ergebnissen der bereits vorhandenen Studien an Fohlen (Vollblüter, Traber und spanische Pferde) verglichen.

Dopplerechokardiographische (Farbdoppler, PW-/ CW-Doppler-Untersuchung)

Alle Herzklappen wurden mit Hilfe des Farbdopplers auf Rückflüsse untersucht. Lag ein Regurgitationsjet vor, wurde das Pferd nicht in die Studienauswertung integriert.

Statistische Auswertung

Zur statistischen Analyse der Daten und zur Erstellung der Boxplot-Diagramme wurde das Statistikprogramm IBM SPSS Statistics 21 verwendet. Mit Hilfe des Programmes Microsoft Office Excel 2007 wurden die Punktdiagramme erstellt und zur Berechnung der Regressionsanalysen wurde das Soft-

warepaket NCSS Version 9 zur Hilfe genommen. Alle erhobenen Variablen aus den B-Mode- und M-Mode-Untersuchungen wurden einer deskriptiven Datenanalyse unterzogen. Der Mittelwert und die Standardabweichung wurden ermittelt. Die Tiere wurden hierfür in vier Altersgruppen eingeteilt: Fohlen, Jährlinge, Zweijährige und Dreijährige. Da das Alter der Probanden innerhalb der Gruppen nicht gleich war sondern eine bestimmte Spanne einnahm, wurden die Ergebnisse teilweise ergänzend durch Punktdiagramme dargestellt. Dies diente der Verdeutlichung des Zusammenhangs von den Variablen mit z.B. dem Alter jedes einzelnen Pferdes. Zusätzlich wurde eine Trendlinie in Form einer Regressionsgeraden in die Punktdiagramme gelegt und der Regressionskoeffizient für die abhängige Variable angegeben. Die Gruppen wurden mit Hilfe einer Post-Hoc-Analyse mittels Einzelgruppenvergleich nach Scheffé auf signifikante Unterschiede untereinander untersucht. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe von Boxplots dargestellt. Die erhobenen Variablen wurden auf folgende Einflüsse hin untersucht: Alter, Gewicht, Größe, Geschlecht, Herzfrequenz. Es wurden sowohl univariable als auch multivariable lineare Regressionsmodelle gerechnet. Da eine univariable Analyse die Effekte der Variablen untereinander nicht mit beachtet, wurde vom Institut für Biometrie und Statistik der FU Berlin zu einer multivariablen Analyse geraten und durchgeführt. Für das multivariable Modell bezog das Programm automatisch die vier einflussreichsten der fünf genannten möglichen Einflussfaktoren in die Regressionsanalyse ein. Die mögliche gegenseitige Beeinflussung der Variablen wurde in der Diskussion aufgegriffen.

Ein lineares Regressionsmodell (Marr et al. 2010) wurde genutzt, um den Referenzbereich der Fohlen mit Hilfe des Gewichts zu ermitteln und die gemessenen Werte damit zu vergleichen (Regressionsgleichung zur Berechnung des Referenzbereiches für die B- und M-Mode Variablen IVSs/d, LVIDs/d, LVFWs/d, Aortendiameter, LA-L bei Fohlen). Für jede der aufgezählten Variablen geben die Autoren ein spezielles Steigungsmaß (m) sowie einen Achsenabschnitt (b) vor. Setzt man nun diese vorgegebenen Zahlen und das Gewicht des Fohlens in die Formel ein, bekommt man als Ergebnis den Wert, welcher für dieses Fohlen den Referenzbereich darstellt. Jedoch stand diese Formel nur für einige wenige Variablen zur Verfügung: $y = \text{Referenzbereich}$; $m = \text{Steigungsmaß}$; $x = \text{Gewicht des Fohlens}$; $b = \text{Achsenabschnitt}$.

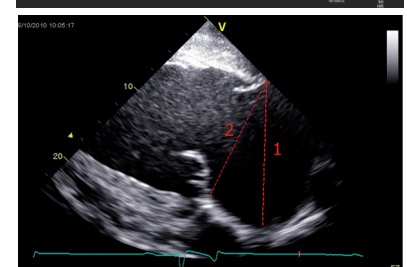
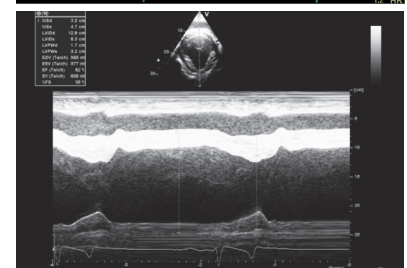
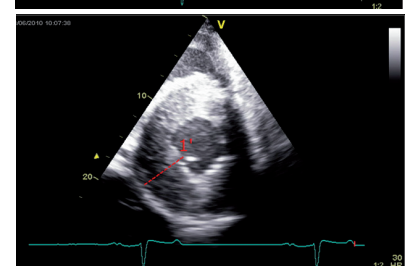
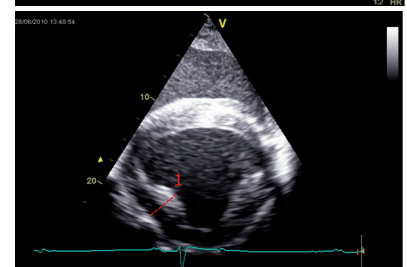
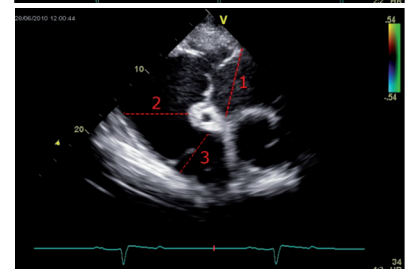
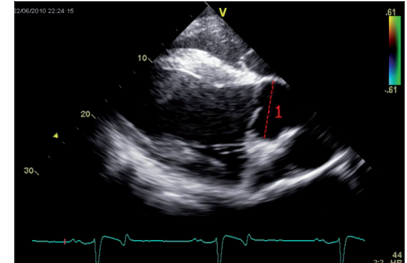
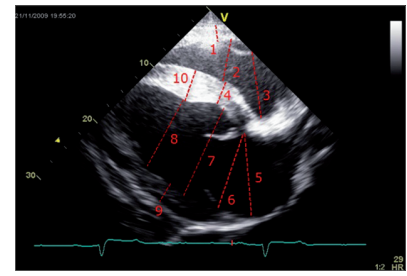
Die Ergebnisse wurden tabellarisch zusammengefasst und auf Grundlage des p-Wertes und des korrigierten r^2 ausgewertet. Jede Variable wurde in drei konsekutiven Herzzyklen gemessen. Ziel war es, daraus den Mittelwert zu bilden, welcher dann für die Auswertung genutzt wurde. Zur Beschreibung der Variabilität innerhalb der drei aufeinanderfolgenden Messungen des gleichen Parameters, wurde der Variationskoeffizient herangezogen. Ein Einfluss gilt als signifikant, wenn $p \leq 0,05$.

Ergebnisse

Pferde

Alle Pferde wurden in die folgenden Altersgruppen eingeteilt: Fohlen, Jährlinge, Zweijährige, Dreijährige. Es wurden für die Größe, das Gewicht und die Herzfrequenz die Mittelwerte

Rechte kaudale lange Achse (RKDLA= Längsschnitt, rechte Thoraxseite, 3.-4. ICR)	<p>1 = enddiastolische Myokarddicke rechte Ventrikelwand (RVFW)</p> <p>3 = enddiastolischer Innendurchmesser rechter Vorhof (RA)</p> <p>4 = enddiastolische Myokarddicke IVS</p> <p>5 = enddiastolische max. Innendurchmesser linker Vorhof (LA)</p> <p>6 = enddiastolischer Durchmesser Mitralklappenebene (MVDia)</p> <p>7 = enddiastolischer Innendurchmesser LV breiteste Stelle (LV1)</p> <p>8 = enddiastolischer Innendurchmesser LV auf Höhe der Papillarmuskeln (LV2)</p> <p>9 = enddiastolische Myokarddicke linke Ventrikelwand (LVFW)</p>
Rechte kaudale lange Achse mit Aorta (RKDLA-AO= Längsschnitt, rechte Thoraxseite, 4. ICR)	<p>1 = Durchmesser der Aorta auf Höhe der Klappenebene (AoSinVals)</p>
Rechte kaudale lange Achse mit Aorta (RKDLA-AO= Längsschnitt, rechte Thoraxseite, 4. ICR)	<p>1 = Innendurchmesser rechter Vorhof (TV)</p> <p>2 = Innendurchmesser RV</p> <p>3 = Durchmesser der Pulmonalklappe (PV)</p>
Rechte kraniale lange Achse (RKRLA: Längsschnitt, rechte Thoraxseite, 3. ICR)	<p>1 = enddiastolische Myokarddicke in der Diastole auf Höhe der Papillarmuskeln</p>
Rechte kaudale kurze Achse (RKDKA: Querschnitt, rechte Thoraxseite, 4. ICR)	<p>1' = endsystolische Myokarddicke in der Systole auf Höhe der Papillarmuskeln</p>
Rechte kaudale kurze Achse (RKDKA: Querschnitt, rechte Thoraxseite, 4. ICR)	<p>1. Interventrikularseptum systolisch/diastolisch (IVSs/IVSd)</p> <p>2. linksventrikulärer innerer Durchmesser systolisch/diastolisch (LVIDs/LVIDd)</p> <p>3. linksventrikuläre hintere Wand systolisch/diastolisch (LVPWs/LVPWd)</p> <p>Berechnete Variablen: enddiastolisches Volumen (EDV); endsystolisches Volumen (ESV); Ejektionsfraktion (EF%); Fractional Shortening (FS%); Schlagvolumen (SV)</p>
Linke kaudale lange Achse (LKDLA: Längsschnitt, linke Thoraxseite, 4. ICR)	<p>1 = enddiastolischer Innendurchmesser linker Vorhof (LA-L)</p>



Tab. 2 B- und M-Mode Messungen nach Stadler 1988, Stadler et al. 1988, Stadler und Robine 1996 (ICR: Interkostalraum, RV: rechter Ventrikel, LV: linker Ventrikel, IVS: Interventrikularseptum, RA: rechter Vorhof, LA: linker Vorhof, AO: Aorta). | *B- and M-Mode measurements (Stadler 1988, Stadler et al. 1988, Stadler and Robine 1996; ICR: intercostal chamber, RV: right ventricle, LV: left ventricle, IVS: interventricular septum, RA: right atrium, LA: left atrium, AO: aorta).*

bestimmt (Tab. 3). Da das Alter der Pferde eines jeden Jahrgangs sich über einen gewissen Zeitraum erstreckt, wurden teilweise Punktdiagramme erstellt, um den Verlauf der Variablen ohne eine Einteilung in Gruppen zu verfolgen.

Vorbericht und Allgemeinuntersuchung

Die Allgemeinuntersuchung ergab bei keinem der untersuchten Pferde einen besonderen Befund. Betrachtete man den Zusammenhang von Gewicht (Abb. 1) und Größe (Abb. 2)

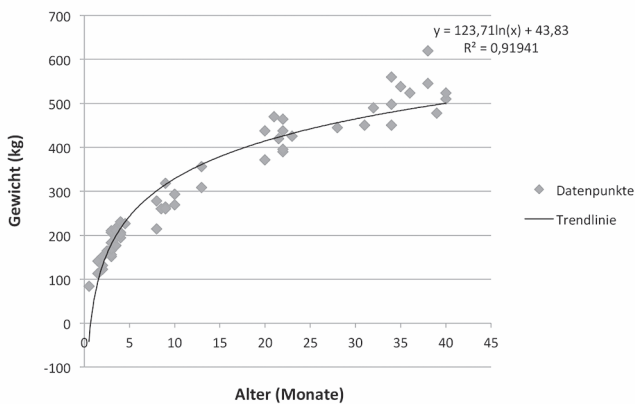


Abb. 1 Zusammenhang zwischen dem Gewicht und dem Alter der Pferde | *Correlation of weight and age of horses.*

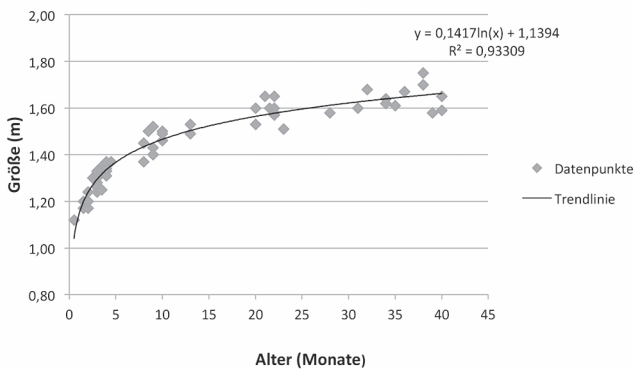


Abb. 2 Zusammenhang zwischen der Größe und dem Alter der Pferde | *Correlation of height and age of horses.*

zum Alter der Pferde im Verlauf, wurde der deutliche logarithmische Anstieg dieser beiden Variablen mit zunehmendem Alter sichtbar. Das durchschnittliche Gewicht der vier Gruppen unterschied sich hoch signifikant voneinander ($p = 0,000$). Außer zwischen den Gruppen 3 und 4, gab es auch in puncto Größe hoch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p = 0,001$). Die größte Steigung von Gewicht und Größe zeigte sich bei den Pferden bis zu einem Alter von 6 Monaten. Die durchschnittliche Herzfrequenz der Fohlen war mit $65,5 \pm 10,9$ Schlägen pro Minute signifikant höher als die der drei anderen Pferdegruppen ($p = 0,001$; Abb. 3).

Ergebnisse der B- und M-Mode Untersuchungen

Die Mittelwerte aller im B-Mode gemessenen Variablen stiegen von den Fohlen bis zur ältesten Altersgruppe der Dreijährigen kontinuierlich an (Tab. 4). Der Sinus Valsalve der Aorta (Abb. 4a) und der Mitralklappendurchmesser (Abb. 4b) wurden hier stellvertretend für die linke Herzseite und der Pulmonalklappendurchmesser (Abb. 4c) stellvertretend für die rechte Herzseite dargestellt. Die Punktdiagramme der drei für die

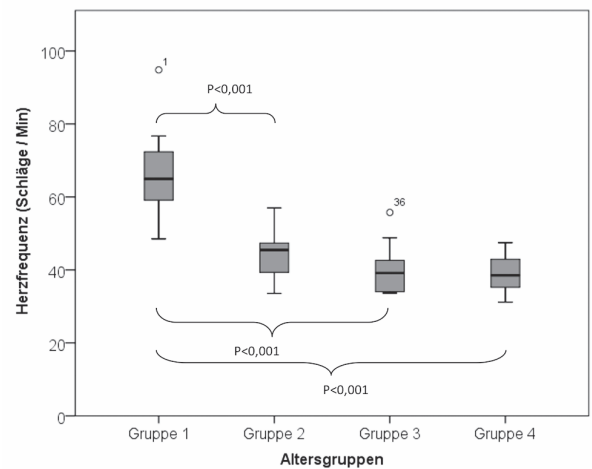


Abb. 3 Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Altersgruppe mit Angabe der signifikanten Unterschiede zwischen den Fohlen und den anderen drei Altersgruppen (Gruppe 1 = Fohlen, Gruppe 2 = Jährlinge, Gruppe 3 = 2-jährige, Gruppe 4 = 3-jährige). | *Heart rate in dependence of age group including significant differences between foals and the other three age groups.*

Tab. 3 Anzahl und Geschlecht der Probanden sowie Mittelwerte und Standardabweichung von Größe, Gewicht und Herzfrequenz, eingeteilt nach Altersgruppen. | *Numbers and sex of horses in different groups as well as mean values \pm standard deviation of height, weight and heart rate.*

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
	Fohlen (n=23)	Jährlinge (n=12)	Zweijährige (n=10)	Dreijährige (n=12)
Stuten	7	6	5	6
Hengste	16	6	5	6
Größe (m)	1,28 \pm 0,7	1,50 \pm 0,05	1,59 \pm 0,04	1,64 \pm 0,05
Gewicht (kg)	173,9 \pm 38,8	281,1 \pm 36	425,9 \pm 31,9	515,8 \pm 47,9
Herzfrequenz (Schläge/Min)	65,5 \pm 10,9	44,2 \pm 6,4	40,2 \pm 7,3	39,1 \pm 5,1

Herzgröße genutzten Variablen zeigten alle einen logarithmischen Verlauf. Betrachtete man die Ergebnisse gruppenweise so bestanden im Mitralklappendurchmesser signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen (Abb. 5). Von den Fohlen zu den dreijährigen Pferden vergrößerte sich der Mitralklappendurchmesser von einer Gruppe zur nächsten signifikant mit Ausnahme von den Jährlingen zu den Zweijährigen. Die Fohlen hatten den kleinsten Mitralklappendurchmesser und unter-

schieden sich in diesem Variablen sehr bzw. hoch signifikant von den drei anderen Altersgruppen ($p = 0,001$; $p = 0,001$).

Univariable Einflüsse auf die Messungen

Aus der univariablen linearen Regressionsanalyse geht hervor, dass das Alter, das Gewicht sowie die Größe der Pferde auf alle mit dem B-Mode ermittelten Variablen einen signifikanten positiven Einfluss hatte. Je älter, größer und schwerer die Pferde waren, desto größer waren die gemessenen Variablen ausgeprägt. Auch für die Herzfrequenz wurde für alle B-Mode Variablen ein signifikanter Einfluss nachgewiesen. Dieser stellte sich negativ dar. Je höher die Herzfrequenz der Probanden, desto niedriger die B-Mode-Variablen. Das Geschlecht hatte einen punktuellen signifikanten Einfluss auf die Größe des rechten Atriums.

Multivariable Einflüsse auf die B-Mode-Messungen

Aus der multivariablen Regressionsanalyse mit den vier wichtigsten Einflussfaktoren auf die jeweiligen Variablen geht hervor, dass das Gewicht der Pferde unter Kontrolle der anderen

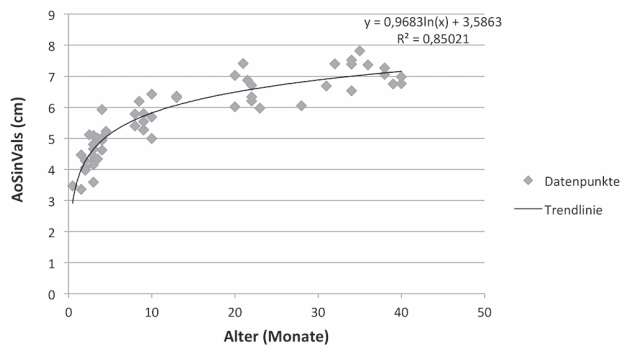


Abb. 4a Zusammenhang zwischen dem Sinus Valsalve der Aorta (AoSinVals) und dem Alter der untersuchten Pferde | Correlation of the aortic sinus valsalva (AoSinVals) and age of the horses.

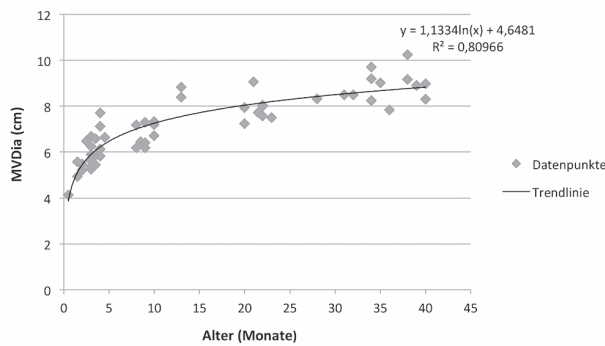


Abb. 4b Mitralklappendiameter (MVDia) in Abhängigkeit von dem Alter der Pferde | Mitral valve diameter (MVDia) in dependence of age of the horses.

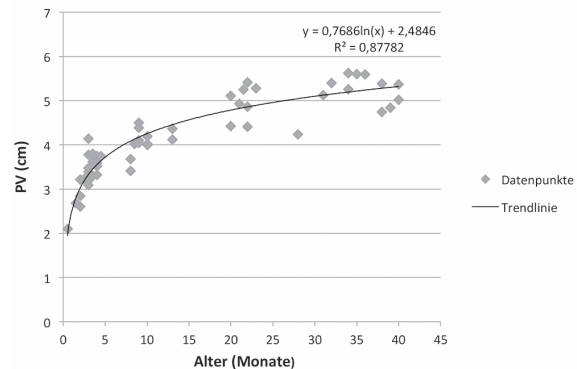


Abb. 4c Pulmonalklappendurchmesser (PV) in Abhängigkeit von dem Alter der Pferde | Pulmonary valve diameter (PVDia) in dependence of age of the horses.

Tab. 4 Ergebnisse (cm) der B-Mode-Untersuchung der verschiedenen Altersgruppen, Mittelwerte und Standardabweichung. | Results (cm) of 2DE examinations in different age groups, mean values ± standard deviation.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Parameter	Fohlen	Jährlinge	Zweijährige	Dreijährige
MVDia	5,9 ± 0,8	7,0 ± 0,9	7,9 ± 0,5	8,9 ± 0,7
LA	5,9 ± 0,8	7,2 ± 0,9	8,2 ± 0,6	9,1 ± 0,6
LV1	7,9 ± 0,8	9,0 ± 0,7	10,2 ± 0,7	11,1 ± 0,8
LV2	5,7 ± 0,6	6,7 ± 0,8	7,8 ± 0,6	8,3 ± 0,6
IVS	1,6 ± 0,2	1,7 ± 0,2	2,0 ± 0,1	2,3 ± 0,2
LW	1,4 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,7 ± 0,1	2,0 ± 0,2
RW	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,5 ± 0,2
RA	4,3 ± 1,0	5,0 ± 0,8	5,8 ± 0,7	6,4 ± 0,5
AoSinVals	4,5 ± 0,6	5,8 ± 0,5	6,5 ± 0,5	7,1 ± 0,4
TV	4,7 ± 0,5	5,6 ± 0,6	6,2 ± 0,6	7,1 ± 0,7
RV	5,9 ± 0,8	6,8 ± 0,7	7,9 ± 0,7	7,6 ± 0,8
PV	3,3 ± 0,5	4,1 ± 0,3	4,9 ± 0,4	5,3 ± 0,3
LAL	7,0 ± 0,8	8,0 ± 0,9	9,3 ± 0,5	10,8 ± 0,8

Variablen am häufigsten einen signifikanten positiven Einfluss auf die Ausprägung der B-Mode-Variablen hatte (Tab. 5). So sind die Messungen des linken Ventrikels (wie der Mitralklappendiameter, das linke Atrium, der linke Ventrikel oder auch das Interventrikularseptum) sowie auch des rechten Herzens (wie die rechtsventrikuläre freie Wanddicke) signifikant von dem Gewicht der Tiere beeinflusst. Je schwerer die Tiere, desto höher waren die B-Mode-Variablen ausgeprägt. Für die Größe, die Herzfrequenz und auch das Geschlecht können jetzt nur noch vereinzelt punktuelle signifikante Einflüsse nachgewiesen werden. Das Alter hat in diesem Model keinen signifikanten Einfluss auf die Variablen. Das korrigierte r^2 erreichte Werte von 0,56 bis 0,91.

Ergebnisse der M-Mode-Untersuchung

Anhand der für die vier verschiedenen Altersgruppen dargestellten Mittelwerte (Tab. 6) wurde deutlich, dass die von der Herzgröße abhängigen Variablen wie die Dicke des Interventrikularseptums, der Diameter des linken Ventrikels (Abb. 6) sowie auch die Dicke der linken Ventrikelwand kontinuierlich

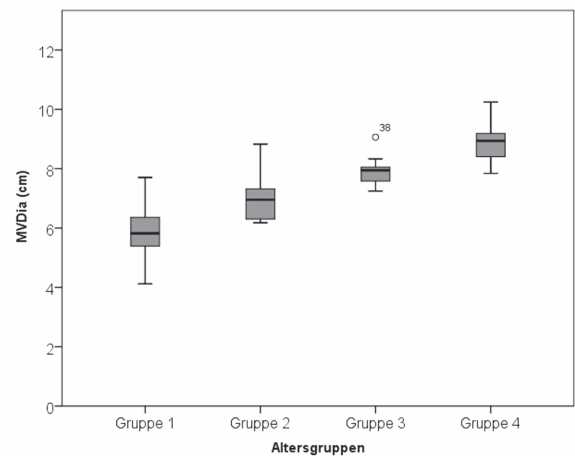


Abb. 5 Mitralklappendiameter (MVDia) in Abhängigkeit von der Altersklasse der Pferde mit Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Gruppe 1 = Fohlen, Gruppe 2 = Jährlinge, Gruppe 3 = 2-jährige, Gruppe 4 = 3-jährige). | *Mitral valve diameter (MVDia) in dependence of age group, significant differences between age groups marked*

Tab. 5 B-Mode – Ergebnisse der multivariablen Regressionsanalyse, p-Werte, korrigiertes r^2 , signifikante Einflüsse hervorgehoben. | *Results of multivariable regression analysis, p-values, corrected r^2 , significant influences marked.*

Parameter	Alter (p-Wert)	Gewicht (p-Wert)	Größe (p-Wert)	HR (p-Wert)	Geschlecht (p-Wert)	R^2 korr.
MVDia	n.u.	0,009	0,251	0,255	0,642	0,843
LA	0,503	0,044	0,379	0,143	n.u.	0,861
LV1	0,899	<0,001	n.u.	0,021	0,150	0,858
LV2	n.u.	<0,001	0,618	0,267	0,572	0,777
IVS	0,232	0,010	n.u.	0,974	0,035	0,805
LFW	0,850	0,054	0,277	0,351	n.u.	0,679
RVFW	0,337	0,049	0,056	n.u.	0,327	0,648
RA	0,233	0,773	0,211	n.u.	0,118	0,562
AoSInVals	0,624	0,076	<0,001	n.u.	0,474	0,906
TV	0,604	0,418	0,088	0,255	n.u.	0,792
RV	0,067	0,167	0,173	0,443	n.u.	0,676
PV	0,396	0,012	0,522	0,234	n.u.	0,879
LAL	0,520	<0,001	n.u.	0,572	0,339	0,896

Tab. 6 Ergebnisse der M-Mode-Untersuchungen, unterteilt nach Altersgruppen, Mittelwerte und Standardabweichung. | *Results of M-mode examinations (mean values \pm standard deviations) of different age groups*

Parameter	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
	Fohlen	Jährlinge	Zweijährige	Dreijährige
IVSd	2,1 \pm 0,3	2,3 \pm 0,3	2,6 \pm 0,3	3,0 \pm 0,3
LVIDd	7,8 \pm 0,8	8,7 \pm 0,6	9,6 \pm 0,9	11,1 \pm 0,8
LVPWd	1,5 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	2,1 \pm 0,2	2,5 \pm 0,4
IVSs	3,4 \pm 0,5	3,7 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	4,6 \pm 0,3
LVIDs	4,9 \pm 0,6	5,1 \pm 0,5	5,7 \pm 0,9	6,6 \pm 0,6
LVPWs	2,6 \pm 0,4	3,3 \pm 0,2	3,8 \pm 0,3	4,1 \pm 0,5
EDV ml	328,7 \pm 70,4	417,8 \pm 67,2	523,3 \pm 114,1	717,6 \pm 109,6
ESV ml	117,3 \pm 31,2	126,0 \pm 32,1	166,8 \pm 68,7	228,6 \pm 48,8
EF %	64,0 \pm 6,5	70,0 \pm 3,6	68,8 \pm 5,5	68,2 \pm 3,6
FS %	36,4 \pm 5,0	41,3 \pm 3,0	40,7 \pm 4,2	40,5 \pm 2,9
SV ml	211,3 \pm 51,1	291,8 \pm 40,2	356,5 \pm 56,5	489,0 \pm 73,8

größer wurden je älter die Pferde waren. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren hier fast immer signifikant.

Der Unterschied des durchschnittlichen Schlagvolumens zwischen den Fohlen und Jährlingen war sehr signifikant

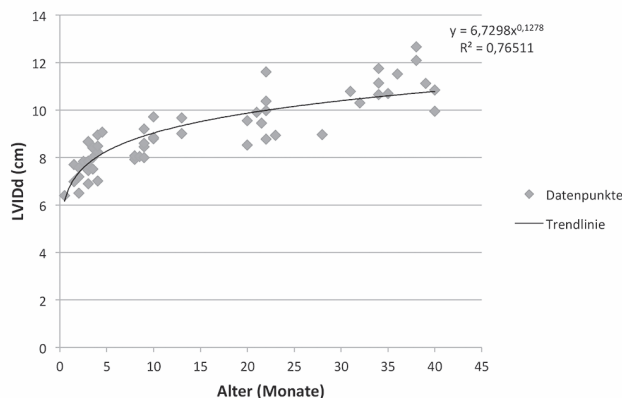


Abb. 6 Diastolischer linksventrikulärer innerer Durchmesser (LVIDd) in Abhängigkeit von dem Alter der Pferde | *Diastolic left ventricular inner diameter (LVIDd) in dependence of age of the horses.*

($p = 0,002$). Von dem Schlagvolumen der Zwei- und Dreijährigen unterschied sich das der Fohlen hoch signifikant ($p = 0,001$). Das Schlagvolumen der Gruppen 2 und 3 unterschied sich jeweils hochsignifikant von den dreijährigen Pferden ($p = 0,001$; Abb. 7). Das Schlagvolumen stieg von den Fohlen zu den Dreijährigen an. Die prozentualen Variablen – wie die Ejection Fraction (EF%) und das Fractional Shortening (FS%) – zeigten keine so deutlichen Differenzen zwischen den Altersgruppen. Beim FS% unterschied sich die Gruppe der Fohlen signifikant von den Jährlingen ($p = 0,016$). Die Gruppen 2 bis 4 lagen mit ihrem Mittelwert annähernd auf einer Linie (Abb. 8).

Univariable Einflüsse auf die M-Mode-Messungen

Wie auch im B-Mode hatten auch im M-Mode das Alter, das Gewicht und die Größe der untersuchten Pferde einen signifikanten positiven Einfluss auf die Ausprägung aller Variablen. Je älter, größer und schwerer die Pferde bei der Untersuchung waren, desto größer waren auch die M-Mode-Variablen ausgeprägt. Die Herzfrequenz zeigte einen signifikanten negativen Einfluss. Je höher die Herzfrequenz, desto nie-

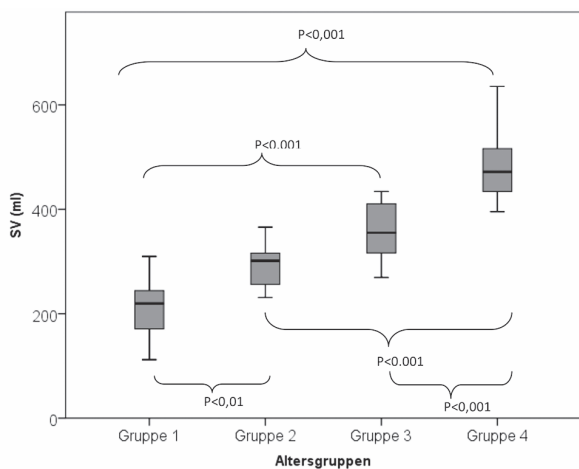


Abb. 7 Zusammenhang zwischen dem Schlagvolumen (SV) und der Altersgruppe, signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Gruppe 1 = Fohlen, Gruppe 2 = Jährlinge, Gruppe 3 = 2-jährige, Gruppe 4 = 3-jährige) | *Correlation of stroke volume (SV) and age group, significant differences between groups marked.*

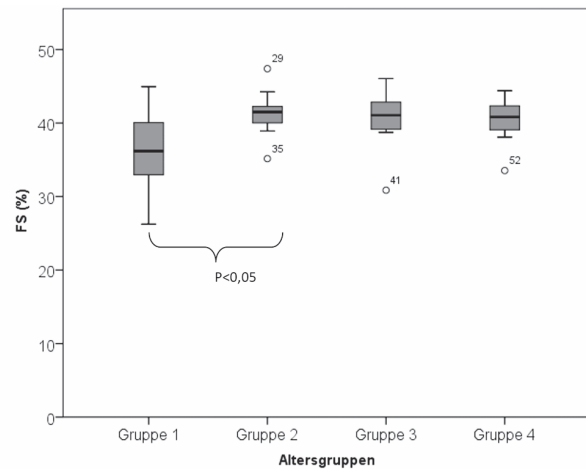


Abb. 8 Fractional Shortening (FS (%)) in Abhängigkeit von der Altersgruppe, signifikanter Unterschied zwischen Fohlen (Gruppe 1) und Jährlingen (Gruppe 2) | *Fractional Shortening (FS (%)) in dependence of age groups, significant differences between foals (group 1) and yearlings (group 2).*

Tab. 7 M-Mode – Multivariable Einflüsse auf die M-Mode-Parameter, p-Werte, korrigiertes r^2 , signifikante Einflüsse hervorgehoben. | *M-mode – Multivariable influence on M-mode parameters, p-values, corrected r^2 , significant influences marked.*

Parameter	Alter	Gewicht	Größe	HR	Geschlecht	R^2 korr.
IVSd	0,5079	0,5261	0,3423	n.u.	0,0475	0,6700
LVIDd	0,5274	0,1486	0,5136	n.u.	0,4035	0,8043
LVPWd	0,0686	0,3196	n.u.	0,5981	0,3796	0,6972
IVSs	0,6173	0,4064	0,1972	n.u.	0,0268	0,7452
LVIDs	0,7123	0,1230	0,3124	n.u.	0,2364	0,5313
LVPWs	n.u.	0,0211	0,3075	0,1838	0,1797	0,8080
EDV ml	0,3495	0,0079	n.u.	0,7858	0,3505	0,7859
ESV ml	0,6903	0,1286	0,2729	n.u.	0,2684	0,5070
EF %	0,8533	0,2097	0,0039	n.u.	0,2278	0,2520
FS %	0,8491	0,2490	0,0040	n.u.	0,2043	0,2947
SV ml	0,1989	0,3237	0,2020	n.u.	0,6024	0,8412

driger waren die M-Mode-Variablen. Das korrigierte r^2 für die Ejection Fraction und das Fractional Shortening fiel im Vergleich zu dem der anderen Variablen niedriger aus. Das Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf die M-Mode-Variablen.

Multivariable Einflüsse auf die M-Mode-Messungen

In der multivariablen Regressionsanalyse waren die signifikanten Einflüsse des Gewichts und der Größe auf die M-Mode-Variablen nur punktuell (Tab. 7). Das Alter und die Herzfrequenz hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung der Werte. Das Geschlecht zeigte nun einen signifikanten Einfluss auf die Dicke des Interventrikularseptums in der Systole und Diastole. Das korrigierte r^2 lag zwischen 0,25 und 0,84.

Vergleich der Referenzbereiche

Die von Marr und Patteson (2010) aufgestellte Gleichung war auf die in dieser Studie untersuchten Fohlen anwendbar und es ergaben sich Ergebnisse innerhalb der mit Hilfe des Gewichts der Fohlen errechneten Normbereiche. Die B- und M-Mode Ergebnisse der anderen Pferdegruppen wurden mit den Ergebnissen anderer Studien verglichen. Auch hier befanden sich die Variablen der in dieser Studie untersuchten Pferde innerhalb der von anderen Autoren angegebenen Referenzbereiche.

Diskussion

Die vorliegende Studie diente der Erstellung von Referenzbereichen für echokardiografische Variablen bei juvenilen Warmblutpferden. Hierbei wurde bei der Durchführung der Ultraschalluntersuchungen (verwendete Schallebenen, anatomische Lokalisation/Landmarks und Zeitpunkte im EKG/timing der Messungen) die im deutschsprachigen Raum etablierten und gebräuchlichen Methoden verwendet (Stadler 1988, Stadler et al. 1988).

Pferde

Wie bereits bei anderen echokardiografischen Studien bei Pferden (Gehlen et al. 2005, Schefer et al. 2010, Michutta 2011) bestand auch das Probandengut dieser Studie aus deutschen Warmblütern. In der hier vorliegenden Studie handelte es sich jedoch ausschließlich um Pferde der Rassen Oldenburger, Hannoveraner, Westfalen und Holsteiner, also aus Pferden der bekanntesten deutschen Warmblutrassen. Grund für diese Fokussierung war, dass diese Pferde sich konstitutionell sehr ähnlich sind. Das Besondere an dieser Studie stellt die Alterszusammensetzung der Probanden dar. Bisher wurden lediglich Vollblutfohlen (Collins et al. 2010, Matur und Gür 2011, Slack et al. 2012), spanische Fohlen (Rovira und Munoz 2009) sowie Ponyfohlen (Lombard et al. 1984) echokardiografisch untersucht. Die bisher durchgeführten Studien an jungen Pferden untersuchten zudem meistens nur Fohlen im Verlauf bis zum 4. Monat post natal (Collins et al. 2010) und bis zu einem Alter von drei Monaten (Lombard et al. 1984). Lediglich Matur und

Gür (2011) untersuchten eine größere Gruppe von Vollblutfohlen wiederholt echokardiografisch bis zu einem Alter von zwei Jahren. In der Studie von Rovira und Munoz (2009) wurden Fohlen im Alter von drei Wochen bis zum Jährlingsalter untersucht.

Keine der aufgeführten Studien befasste sich jedoch mit Pferden vom Fohlenalter bis hin zum dreijährigen Pferd. Damit liefert diese Studie wichtige Basisinformationen für die standardechokardiografische Untersuchung junger Warmblutpferde. Auf Grund ihres hohen Temperaments sind junge Warmblüter keine einfache zu untersuchenden Probanden. Es gestaltete sich teilweise sehr schwierig, die jungen Pferde und Fohlen für den gesamten Zeitraum der Untersuchung ruhig zu halten. Für Folgestudien wäre es deshalb empfehlenswert, die Probanden zu sedieren, auch wenn dies wiederum Einfluss auf die Myokardbewegungen nimmt (Gehlen und Nagel 2014). Die Sedierung der jungen Patienten könnte eine Möglichkeit sein, die Bildqualität sowie auch die Sicherheit für den Untersucher, die Helfer und die Gerätschaften zu erhöhen und somit auch die Vergleichbarkeit zu verbessern.

B- und M-Mode-Untersuchungen

Als Grundlage jeder echokardiografischen Untersuchung dienen die B- und M-Mode-Untersuchungen, da sie dem diagnostischen Standard entsprechen. Auf Grund der bisher fehlenden echokardiografischen Untersuchungen an präadulten Warmblutpferden sind auch die Ergebnisse der echokardiografischen Untersuchung mittels B- und M-Mode dieser Studie von besonderem Interesse. Die Ergebnisse aus der B- und M-Mode-Untersuchung legen dar, wie sich das Pferdeherz in den ersten Lebensmonaten und -jahren entwickelt. Ferner belegen sie, dass im Zuge des Körperwachstums auch das Pferdeherz deutlich wächst. Dabei handelt es sich um ein logarithmisches Wachstum. Die Tatsache, dass das Herz im Zuge des Körperwachstums auch mitwächst war zu erwarten. Die Ergebnisse verdeutlichen aber, dass der Verlauf des Größenzwachstums der Pferde fast identisch zu den Kurven der Herzdimensionen (wie beispielsweise dem Mitralklappendiameter) verläuft. Die in dieser Studie beobachtete Proportionalität des Herzwachstums zu dem Größenwachstum zeigte sich auch in Forschungsergebnissen aus der Humanmedizin (Hudlicka und Brown 1996). Die in der hier vorliegenden Studie gemessenen Variablen näherten sich einem endgültigen Wert an, welcher mit dem eines erwachsenen Pferdes verglichen werden kann. Dies wird in unserer Studie beispielsweise am Schlagvolumen deutlich. Das Herz wächst und mit zunehmender Größe kann es mehr Blutvolumen aufnehmen. Daraus folgend vergrößert sich auch das Schlagvolumen. Es nähert sich dem Wert eines ausgewachsenen Warmblüters an, welcher naturgemäß nicht ins Unermessliche steigen kann. Jedoch gibt es bisher keine Untersuchungen und aus diesem Grunde auch keine Referenzbereiche für Fohlen oder Jungpferde der Warmblutrassen bis zu einem Alter von drei Jahren, sodass die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen nur unter Vorbehalt mit den bereits bei Vollblütern und Trabern durchgeführten Referenzbereichen verglichen werden können (Patteson et al. 1995, Zucca et al. 2008, Collins et al. 2010, Matur und Gür 2011). Trotz der Rasse- und Methodenunterschiede lagen fast alle für einen Vergleich zur Verfügung stehenden

B- und M-Mode-Variablen (Linkes Atrium, Aortendiameter, Pulmonalklappendiameter, LVIDd/s, LVPWd/s, IVSd/s, FS%, EF%, EDV, ESV,SV) in demselben Rahmen, wie die in den genannten Studien erhobenen Variablen (Rovira und Munoz 2009, Collins et al. 2010, Matur und Gür 2011). Andere Autoren halten dagegen die Referenzbereichvoraussage der Herzdimensionen auf der Grundlage von Daten verschiedener Rassen für unmöglich (Slater und Herrtage 1995). Jedoch befasste sich die angesprochene Studie nicht mit Fohlen, sondern untersuchte ausgewachsene Pferde.

Aus den Ergebnissen der hier vorliegenden Arbeit ist zu schließen, dass sich die Normalwerte gesunder Fohlen zwischen Vollblütern, spanischen Pferden und den hier untersuchten Warmblütern nicht grundlegend unterscheiden. Obwohl die von Marr und Patteson (2010) entwickelte Formel zur Referenzbereichberechnung der M-Mode-Variablen mit Hilfe des Gewichts aus einer Untersuchung an Vollblutfohlen stammt, waren die Werte der in dieser Studie untersuchten Fohlen mit denen der Vollblutfohlen vergleichbar. Die Ergebnisse der hier untersuchten Fohlen lagen innerhalb der mit Hilfe der Formel von Marr und Patteson (2010) errechneten Referenzbereiche. Die B- und M-Mode-Ergebnisse in unserer Studie weisen darauf hin, dass der größte und schnellste Teil des Herzwachstums bereits im Alter von 3 Wochen bis 4,5 Monaten stattfindet. Schon bei der zweiten untersuchten Gruppe war die Steigung des Wachstums deutlich geringer als bei den Fohlen. Dieses schnelle Wachstum des Herzens in den ersten Lebensmonaten konnte bereits in anderen Studien – beispielsweise bei Ponyfohlen (Lombard et al. 1984) und Hunden (Diez-Prieto et al. 2010) – beobachtet werden. Insgesamt können die Ergebnisse der echokardiografischen Standarduntersuchung als Orientierung für weitere Untersuchungen angesehen werden, da sie erstmals die Entwicklung der Variablen vom Fohlen bis zum jungen adulten Warmblutpferd aufzeigen. Um verlässliche Referenzbereiche für Fohlen und Jungpferde der deutschen Warmblutrasen zu erstellen, ist es vonnöten, eine deutlich größere Probandengruppe unter standardisierten Bedingungen zu untersuchen.

Einfluss von Alter, Gewicht, Größe und Geschlecht auf die echokardiografischen Variablen

In der multivariablen Analyse zeigte das Gewicht die meisten signifikant positiven Einflüsse auf die B-Mode-Variablen. Bei den M-Mode-Variablen waren zwei Variablen signifikant positiv durch das Gewicht und zwei weitere Variablen signifikant positiv durch die Größe der Pferde beeinflusst. Eine Studie an Vollblutfohlen kam ebenfalls zu dem Schluss, dass das Gewicht der Tiere eine stärkere Beziehung zur Ausprägung der M-Mode-Variablen besitzt als das Alter (Collins et al. 2010). Das insgesamt hohe korrigierte r^2 zeigt allerdings, dass die ausgewählten Variablen in der Gesamtheit betrachtet einen Großteil der Variabilität der Messwerte erklären können. Jedoch kann sich keine einzelne Messung als die eine wichtige Einflussvariable herauskristallisieren, da die Variablen auch wiederum untereinander eng miteinander verknüpft sind. Die Ergebnisse lassen viel mehr darauf schließen, dass das Alter, das Gewicht und die Größe der Pferde insgesamt einen sehr großen Einfluss auf die Ausprägung der B- und M-Mode-Variablen haben.

Einfluss der Herzfrequenz auf die echokardiografischen Variablen

Die Veränderungen der Herzfrequenz vom Fohlen, welche zum Teil Herzfrequenzen von über 90 Schlägen pro Minute zeigten, bis hin zum dreijährigen Jungpferd waren in dieser Studie signifikant. Je älter die Pferde, desto niedriger waren die Herzfrequenzen. Diese Ergebnisse stimmen mit Beobachtungen aus der Humanmedizin überein (Mori et al. 2000, Ayabakan und Özkutlu 2004, Boettler et al. 2005, Notomi et al. 2006). Da zwischen der Herzfrequenz und dem Alter der Pferde ein enger Zusammenhang besteht, ist es schwer, den individuellen Effekt des einzelnen Faktors herauszuarbeiten. Die Effekte der beiden Einflussvariablen scheinen ähnlich zu sein und sich zu überlappen (Ayabakan und Özkutlu 2004).

Fazit

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen wie sich die B- und M-Mode Variablen vom Warmblutfohlen bis hin zum jungen ausgewachsenen Pferd entwickeln und in welchen Bereichen sich die Messwerte dieser Altersgruppen befinden. Damit leistet diese Studie einen wichtigen Beitrag für die Verbesserung und den Ausbau der kardiologischen Diagnostik bei juvenilen Pferden, welche bisher eher wenig Beachtung in echokardiografischen Untersuchungen fanden.

Literatur

- Ayabakan C., Özkutlu S. (2004) Left ventricular myocardial velocities in healthy children: quantitative assessment by tissue Doppler echocardiography and relation to the characteristics of filling of the left ventricle. *Cardiol. Young* 14, 156-163; DOI 10.1017/S1047951104002070
- Boettler P., Hartmann M., Watzl K., Maroula E., Schulte-Moenting J., Knirsch W., Dittrich S., Kececioglu D. (2005) Heart Rate Effects on Strain and Strain Rate in Healthy Children. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 18, 1121-1130; DOI 10.1016/j.echo.2005.08.014
- Collins N. M., Palmer L., Marr C. M. (2010) Two-dimensional and M-mode echocardiographic findings in healthy Thoroughbred foals. *Aust. Vet. J.* 88, 428-433; DOI 10.1111/j.1751-0813.2010.00641.x
- Diez-Prieto I., Garcia-Rodriguez M. B., Rios-Granja M. A., Cano-Rabano M. J., Pena-Penabad M., Perez-Garcia C. C. (2010) M-mode echocardiographic changes in growing beagles. *J. Am. Assoc. Lab. Animal Sci.* 49, 31-35
- Gehlen H., Marnette S., Rohn K., Stadler P. (2005) Echocardiographic analysis of segmental left ventricular wall motion at rest and after exercise in horses with and without heart disease. *J. Equine Vet. Sci.* 25, 468-479; DOI 10.1016/j.jevs.2005.09.013
- Gehlen H., Nagel D. (2014) Myocardial Function of Horses Under Sedation with Romifidine Using Two-Dimensional Speckle Tracking. *J. Equine Vet. Sci.* 34, 656-661; DOI 10.1016/j.jevs.2013.12.006
- Hudlicka O., Brown M. D. (1996) Postnatal Growth of the Heart and Its Blood Vessels. *Vasc. Res.* 33, 266-287
- Lombard C. W., Evans M., Martin L., Tehrani J. O. Y. (1984) Blood pressure, electrocardiogram and echocardiogram measurements in the growing pony foal. *Equine Vet. J.* 16, 342-347; DOI 10.1111/j.2042-3306.1984.tb01939.x
- Marr C. M., Patteson M. (2010) Chapter 9 – Echocardiography. *Cardiology of the Horse (Second Edition)*. C. M. M. Bowen. W.B. Saunders, Edinburgh, 105-126

- Matur E., Gür N. E.* (2011) M-Mod Echocardiographic Investigation of Cardiac Dimensions and Function Indices in Growing Thoroughbred Foals Reared in Turkey. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 17, 409-416
- Michutta J.-I.* (2011) Einflüsse von Geräteeinstellungen auf myokardiale Geschwindigkeitsprofile in der Gewebedopplerechokardiographie beim Pferd. Diss. Med. Vet. Berlin
- Mori K., Hayabuchi Y., Kuroda Y., Nii M., Manabe T.* (2000) Left ventricular wall motion velocities in healthy children measured by pulsed wave Doppler tissue echocardiography: normal values and relation to age and heart rate. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* official 13, 1002-1011
- Notomi Y., Srinath G., Shiota T., Martin-Miklovic M.G., Beachler L., Howell K., Oryszak S. J., Deserranno D. G., Freed A. D., Greenberg N. L., Younoszai A., Thomas J. D.* (2006) Maturation and Adaptive Modulation of Left Ventricular Torsional Biomechanics: Doppler Tissue Imaging Observation From Infancy to Adulthood. *Circulation* 113, 2534-2541; DOI 10.1161/circulationaha.105.537639
- Patteson M. W., Gibbs C., Wotton P. R., Cripps P. J.* (1995) Echocardiographic measurements of cardiac dimensions and indices of cardiac function in normal adult Thoroughbred horses. *Equine Vet. J.* 27, 18-27; DOI 10.1111/j.2042-3306.1995.tb04985.x
- Rovira S., Munoz A.* (2009) Two-dimensional- and M-mode echocardiographic measurements and indices of cardiac function in Spanish colts and fillies of different age. *J. Vet. Med. Sci.* 71, 957-964
- Schefer K. D., Bitschnau C., Weishaupt M. A., Schwarzwald C. C.* (2010) Quantitative analysis of stress echocardiograms in healthy horses with 2-dimensional (2D) echocardiography, anatomical M-mode, tissue Doppler imaging, and 2D speckle tracking. *J. Vet. Int. Med.* 24, 918-931; DOI 10.1111/j.1939-1676.2010.0542.x
- Slack J., Durando M. M., Belcher C. N., Collins N., Palmer L., Ousey J., Birks E. K., Marr C. M.* (2012) Intraoperator, intraobserver and interoperator variability of echocardiographic measurements in healthy foals. *Equine Vet. J. Supplement*, 69-75
- Slater J. D., Herrtage M. E.* (1995) Echocardiographic measurements of cardiac dimensions in normal ponies and horses. *Equine Vet. J. Supplement*, 28-32
- Stadler P.* (1988) Echocardiography in the horse. Physical-technical basis. *Pferdeheilkunde* 4, 111-115; DOI 10.21836/PEM19880302
- Stadler P., D'Agostino U., Deegen E.* (1988) Methodik der Schnittbilddechokardiographie beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 4, 161-174; DOI 10.21836/PEM19880403
- Stadler P., Rewel A., Deegen E.* (1993) Die M mode Echokardiographie bei S Dressur , S Springpferden und bei untrainierten Pferden. *J. Vet. Med. A* 40, 292-306
- Stadler P., Robine F.* (1996) B-Mode echocardiographic measurement of heart dimensions in warm blooded horses without heart disease. *Pferdeheilkunde* 12, 35-43; DOI 10.21836/PEM19960106
- Zucca E., Ferrucci F., Croci C., Di Fabio V., Zaninelli M., Ferro E.* (2008) Echocardiographic measurements of cardiac dimensions in normal Standardbred racehorses. *J. Vet. Cardiol.* 10, 45-51; DOI 10.1016/j.jvc.2008.04.002