

# Stressechokardiographie beim Warmblutpferd: Aktive Stressinduktion durch Laufband- und Longenbelastung

Heidrun Gehlen, Silke Marnette und Peter Stadler

Klinik für Pferde, Stiftung der Tierärztlichen Hochschule Hannover

## Zusammenfassung

Es war das Ziel der vorliegenden Studie, Normwerte für stressechokardiographische Untersuchungen nach Laufband- und Longenbelastungen bei gesunden Warmblutpferden zu erstellen. Dabei sollte überprüft werden, ab welcher Herzfrequenz nach Belastung eine Veränderung der echokardiographischen Ruhewerte eintritt und ob evtl. die Diagnostik nach Laufbandarbeit durch die Belastungen an der Longe ersetzt werden kann, da diese in der Praxis mit einem erheblich geringeren Aufwand durchführbar ist. Bei 20 gesunden Warmblutpferden wurde eine elektro- und echokardiographische Untersuchung in Ruhe sowie nach Laufband- und Longenbelastung durchgeführt. Sowohl bei der Longen- als auch bei der Laufbandbelastung wurden Herzfrequenzerhöhungen auf Werte von max. 180 Schläge/min erreicht. Dies entspricht den Herzfrequenzen, die bei sportlichen Belastungen eines gesunden Reitpferdes auftreten. Die echokardiographische Untersuchung fand innerhalb der ersten zwei Minuten bei einer durchschnittlichen Herzfrequenz von 108 Schlägen/min statt. Dabei zeigten die echokardiographischen Werte signifikante Verstärkungen der Myokardkontraktion im Vergleich zu den Ruhewerten. Allerdings konnten keine signifikanten Unterschiede der echokardiographischen Parameter nach der Laufbandbelastung einerseits und nach der Longenbelastung andererseits festgestellt werden. Somit kann in der Praxis die Stressechokardiographie auch nach der Longenarbeit (alternativ zur Laufbandbelastung) durchgeführt werden. 12 Pferde wurden nicht nur bei einer Herzfrequenz von 108 Schlägen/min, sondern zusätzlich während der Beruhigungsphase bei Herzfrequenzen von 78 Schlägen/min echokardiographisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass die echokardiographischen Parameter signifikant von der Herzfrequenz beeinflusst wurden. Im Vergleich zu den unmittelbar nach Belastung (Herzfrequenzen von 108 Schlägen/min) erhobenen echokardiographischen Parametern konnten im weiteren Verlauf der Beruhigungsphase (bei Herzfrequenzen unter 80 Schläge/min) nur noch geringfügige Unterschiede zu den Ruhewerten festgestellt werden. Das bedeutet, dass ein gesundes Pferd erst bei einer Herzfrequenz über 80 Schläge/min überhaupt eine Veränderung der echokardiographischen Ruhewerte aufweist. Außerdem hat sich gezeigt, dass bei den gesunden Pferden die Herzfrequenz nach der hier durchgeführten Belastung schnell abfiel. Deshalb steht nach dem hier untersuchten Modell lediglich ein Zeitraum von ca. 2 Minuten für die stressechokardiographische Untersuchung zur Verfügung. Eine echokardiographische Untersuchung bei Herzfrequenzen unter 80 Schläge/min entspricht zumindest beim gesunden Pferd annähernd der Ruheuntersuchung.

**Schlüsselwörter:** Pferd, Stressechokardiographie, Laufbandbelastung, Longenbelastung

## Stress echocardiography in warmblood horses: Active stress induction by treadmill and longing exercise

The purpose of the present study was to establish reference values for stress echocardiography after treadmill and longing exercise in healthy warmblood horses. It was investigated from which heart rate onwards there were changes in echocardiographic parameters during exercise. It was verified whether stress echocardiography after longing provides equivalent results than does stress echocardiography after treadmill exercise because a longing stress test could easily be performed in equine practice whereas a treadmill exercise stress test is reserved to well-equipped clinics. An electrocardiography and an echocardiography were performed at rest and immediately after longing and after treadmill exercise in 20 healthy warmblood horses. During both, the longing and the treadmill exercise, an increase in heart rate up to 180 beats/minute was achieved. Equivalent heart rates are documented during physical performance in healthy horses. The echocardiography was performed within the first two minutes after exercise at a mean heart rate of 108 beats/minute. Thereby the echocardiographic values indicated a significant increase in myocardial contractility compared to the values at rest. The echocardiographic values obtained after treadmill exercise and after longing did not show any significant differences. Consequently, the stress echocardiography after longing is considered an alternative to the stress echocardiography after treadmill exercise. In 12 horses, the echocardiography was not only performed at a mean heart rate of 108 beats/minute, but also during the recovery phase at a mean heart rate of 78 beats/minutes. The results show that the echocardiographic values significantly correlated with the heart rate. In contrast to the echocardiographic results immediately after exercise (mean heart rate of 108 beats/minute), the echocardiographic values during the recovery phase (heart rate below 80 beats/minute) were only slightly different compared to the values obtained at rest. Consequently, the changes in echocardiographic values, during a stress test compared to values at rest, only occur at a heart rate higher than 80 beats/minute. Furthermore, the heart rate decreased rapidly after exercise allowing only a period of approximately two minutes after exercise for the echocardiographic examination.

**Keywords:** horses, echocardiography, treadmill, longing

## Einleitung

Kardiologische Untersuchungen in Ruhe lassen beim Pferd oft keinen Rückschluss auf die Funktion des Herzens unter Belastung zu. Aus diesem Grunde ist es analog zur Humankar-

diologie erstrebenswert, auch das Pferd während oder unmittelbar nach Belastung bei erhöhten Herzfrequenzen (>100/min) zu untersuchen (Sampson et al. 1999). In der Humanmedizin werden die kardiologischen Patienten auf dem Fahrradergometer oder auf dem Laufband dynamisch

belastet (Haug 1998, Hoffmann 2002). Unter einer dynamisch ergometrischen Belastung steigen Herzfrequenz und Blutdruck beim Menschen an und die Inotropie des Myokards nimmt zu. Die körperliche Belastung erlaubt alltagsnah eine Steigerung des myokardialen Sauerstoffverbrauchs (Sheikh et al. 1990, Sklenar et al. 1996). Auf dem Fahrradergometer kann die echokardiographische Untersuchung während maximaler Belastung stattfinden (Hoffmann 2002).

Beim Pferd ist jedoch, insbesondere durch die Bewegung des Olekranons, eine transthorakale Echokardiographie während der aktiven Laufbandbelastung nicht möglich. Deshalb muss beim Pferd die echokardiographische Untersuchung unmittelbar im Anschluss an eine aktive Belastung erfolgen. Die in der Literatur bisher beschriebenen echokardiographischen Veränderungen nach aktiver Belastung beim Pferd sind zum Teil sehr uneinheitlich. Es zeigte sich z.B. unmittelbar nach Laufbandbelastung bei 5 Pferden bei normaler Umgebungstemperatur keine Veränderung der linksventrikulären Durchmesser (Marr et al. 1999). Bei Distanzrittpferden wurde nach Belastung jedoch eine Verringerung der linksventrikulären Innendurchmesser und der Verkürzungsfraktion festgestellt (Bertone et al. 1987). Sampson et al. (1999) untersuchten 6 Vollblutpferde unmittelbar nach Laufbandbelastung echokardiographisch und stellten keine statistisch signifikanten Veränderungen vor und direkt nach Belastung (HF > 100/min) der systolischen und diastolischen Messwerte des linksventrikulären Durchmessers, der Dicke der linksventrikulären Hinterwand und der Dicke des Interventrikularseptums fest. Von Hirgata et al. (1997) wurde bei 3 Vollblutrennpferden in Ruhe und nach Laufbandbelastung eine echokardiographische Untersuchung durchgeführt. In Ruhe war das kardiale Schlagvolumen geringer als bei Belastung. Aufgrund der Variabilität von Fallzahl, Rasse, Alter, Trainingszustand, Belastungsart und -dauer, sowie der echokardiographischen Methodik der bisher nach aktiver Belastung durchgeführten echokardiographischen Untersuchungen, sind die bisher publizierten Ergebnisse beim Pferd sehr uneinheitlich. Um beim Pferd die echokardiographische Untersuchung nach aktiver Belastung zu etablieren, müssen noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Deshalb wurden von uns 20 gesunde Warmblutpferde nach Laufband- und Longenbelastung echokardiographisch untersucht, um Normwerte und eine standardisierte Untersuchungsmethode als Grundlage für die stressechokardiographische Untersuchung herzkranker Warmblutpferde zu liefern.

## Material und Methode

### Pferde

Es wurden 20 Warmblutpferde (vom Institut für Tierzucht und Tierverhalten Mariensee der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig (FAL) und der Klinik für Pferde der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover) untersucht. Es handelte sich um 16 Wallache und 4 Stuten (Hannoveraner) mit einem durchschnittlichen Alter von  $8 \pm 4$  Jahren, einer durchschnittlichen Größe von  $167 \pm 8$  cm und einem durchschnittlichen Gewicht von  $530 \pm 65$  kg.

Die Pferde wurden zunächst allgemein klinisch und speziell kardiologisch einschließlich der Elektro- und der Echokardio-

graphie untersucht. Zusätzlich wurde klinisch und blutgasanalytisch überprüft, ob Hinweise für eine Pneumopathie vorlagen.

Es wurden ausschließlich Pferde ohne Hinweise für eine Erkrankung des Herz- Kreislaufapparates und der Atemwege und ohne Störung des Bewegungsablaufes in die Studie einbezogen.

### Echokardiographische Untersuchung

Sowohl die echokardiographische Untersuchung in Ruhe als auch die stressechokardiographische Untersuchung unmittelbar nach der Laufband- und Longenbelastung erfolgte im M-Mode und im B-Mode und wurde mit dem Ultraschallgerät „Vingmed 600E“ der Firma General Electrics, Garching mit einem 2,5 MHz-Phased-Array-Schallkopf durchgeführt. Die Untersuchungen unmittelbar nach der Belastung wurden innerhalb der ersten 2 Minuten, nachdem die Pferde angehalten wurden, durchgeführt. Die Vermessung und Auswertung der echokardiographischen Parameter erfolgte vom Videoband (Videorecorder „AG 7350“, Firma Panasonic, Osaka/Japan).

Zur Untersuchung der Abhängigkeit echokardiographischer Parameter von der Herzfrequenz wurde bei 12 Pferden sowohl unmittelbar nach der Laufbandbelastung (bei einer Herzfrequenz von  $114 \pm 6$  Schlägen pro Minute) als auch im Verlauf der Beruhigungsphase (bei einer Herzfrequenz von  $78 \pm 3$  Schlägen pro Minute) eine echokardiographische Untersuchung durchgeführt und die Ergebnisse mit der Ruheuntersuchung verglichen.

### B-Mode-Untersuchungen

Zur echokardiographischen Untersuchung mit der B-Mode-Technik wurden die von Stadler et al. (1988, 1996) und Patteson et al. (1995) standardisierte Anschallposition verwendet und das Herz dabei von rechts in der langen Herzachse („Vier-Kammer“ Blick) geschallt und fünf aufeinanderfolgende Herzzyklen wurden aufgezeichnet. Zur Beurteilung der linksventrikulären Funktion wurden zusätzliche Messungen vom Videoband durchgeführt (Gehlen et al. 2005). Dazu wurde im Vierkammerblick sowohl enddiastolisch auch als endsystolisch die Dicke des interventrikulären Septums und der linksventrikulären Hinterwand sowie der Durchmesser des linken Ventrikels sowohl apexnah (Herzspitze = HS), auf Höhe der Papillarmuskeln (Papillarmuskulatur = PPM) und basisnah (unterhalb der Mitralklappe = uMV) bestimmt. Außerdem wurde die Längsausdehnung des linken Ventrikels ermittelt.

### Untersuchungen im M-Mode

Unmittelbar an die B-Mode Untersuchung erfolgte die Untersuchungen des linken Ventrikels im M-Mode mit der von Stadler et al. (1993) erarbeiteten und von Gehlen et al. (2005) erweiterten Methodik. Dabei wurde der M-Mode-Strahl an 3 unterschiedlichen Stellen des linken Ventrikels (LV), sowohl apexnah (HS) als auch auf Höhe der Papillarmuskeln (PPM) und basisnah (unterhalb der Mitralklappe = uMV) im linken

Ventrikel, positioniert. Von jeder M-Mode-Strahl-Position wurden 5 aufeinanderfolgende Herzzyklen aufgezeichnet.

#### Funktionsparameter

Die Berechnung und Vermessung der linksventrikulären Funktionsparameter erfolgte vom Videoband. Als regionaler Funktionsparameter wurde die Verkürzungsfraction (FS) des linken Ventrikels sowohl apexnah (HS), auf Höhe der Papillarmuskeln (PPM) und basisnah (uMV) bestimmt. Zur Ermittlung der globalen linksventrikulären Funktion wurde die linksventrikuläre Fläche (nach Planimetrie des Endokardechos), das linksventrikuläre Volumen (nach der Simpson-Scheibchensummationsmethode), die Ejektionsfraction und das linksventrikuläre Schlagvolumen (errechnet aus dem endsystolischen und dem enddiastolischen Volumen des linken Ventrikels) mit Hilfe der im Ultraschallgerät integrierten Messprogramme errechnet.

#### Laufbandbelastung

Die aktive Laufbandbelastung wurde auf dem Hochgeschwindigkeitslaufband der Firma Kagra AG (Fahrwangen, Schweiz) Typ Mustang 2200 durchgeführt. Die Laufgeschwindigkeit kann dabei bis zu 15m/sec bei einer Steigung von bis zu 11% variiert werden.

Während der Laufbandbelastung und der echokardiographischen Untersuchung wurde der Verlauf der Herzfrequenz mittels eines Teleelektrokardiographen der Firma Elmed ETM (Augsburg) kontinuierlich aufgenommen und mit dem Drucker, Video Graphic Printer VP-890 CE, Sony, ausgedruckt. Zusätzlich wurde die Herzfrequenz mit dem Polar Horse Trainer® SE 610 aufgezeichnet. Das Laufband wurde auf eine Steigung von 3% eingestellt. Die Belastung erfolgte nach folgendem von Gehlen et al. (2003a) etablierten Stufenbelastungstest: 5 Minuten Schritt (1,8 m/sec), 3 Minuten Trab (4 m/sec), 3 Minuten starker Trab (5 m/sec), 6 Minuten Galopp (6 m/sec und 7 m/sec) und 1,5 Minuten starker Galopp (8 m/sec).

Am Ende der letzten Belastungsstufe wurde das Laufband gestoppt und die Pferde wurden unmittelbar vom Laufband geführt, echokardiographisch untersucht, und dann für 15 Minuten bis zum Erreichen der Ruhewerte von Puls- und Atmungsfrequenz im Schritt bewegt.

#### Longenbelastung

Die Longenbelastung wurde in einer Reithalle durchgeführt. Zur Aufzeichnung der Herzfrequenzverläufe wurde die Herzfrequenz-Messuhr Polar Horse Trainer® SE 610 der Firma Polar Elektro GmbH (Büttelborn) eingesetzt.

Die Pferde wurden nach fünf Minuten Schritt für 10 Minuten im fleissigen Arbeitstrab, vier Minuten im Arbeitsgalopp und eine Minute im starken Galopp belastet. Die echokardiographische Untersuchung erfolgte direkt im Anschluss an die Longenbelastung. Dann wurden die Pferde weitere zehn bis fünfzehn Minuten bis zum Erreichen der Ruhewerte von Puls- und Atmungsfrequenz im Schritt longiert.

#### Statistische Auswertung

Zur statistischen Beurteilung der echokardiographischen Parameter in Ruhe, nach Laufband- und nach Longenbelastung wurde eine Berechnung mit dem Statistikprogramm SAS, Version 8.2 (SAS Institute, Cary, NC) durchgeführt. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mit dem Shapiro-Wilk-Test. Von allen Ergebnissen wurde eine deskriptive Statistik mit Mittelwert und Standardabweichung erstellt. Um festzustellen inwieweit signifikante Unterschiede der echokardiographischen Parameter zwischen den Ruhewerten und den Werten nach Laufband- bzw. Longenbelastung vorliegen, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Die Überprüfung der echokardiographischen Parameter nach Laufbandbelastung bei unterschiedlichen Herzfrequenzen wurde ebenfalls mit einer zwei-faktoriellen Varianzanalyse durchgeführt. Ein signifikanter Unterschied lag bei einem p-Wert (Irrtumswahrscheinlichkeit)  $\leq \leq \leq 0,05$  vor.

#### Ergebnisse

##### Herzfrequenzverläufe

Die mittlere maximale Herzfrequenz während der Laufbandbelastung lag bei  $155 \pm 12$  Schlägen pro Minute, während der Longenbelastung bei  $169 \pm 14$  Schlägen pro Minute. Unmittelbar nach der aktiven Belastung der Pferde lagen die Herzfrequenzen innerhalb der ersten 2 Minuten nach Belastung im Mittel bei  $114 \pm 6$  Schlägen pro Minute. Nach 3-5 Minuten wies die Herzfrequenz einen Mittelwert von  $78 \pm 3$  Schlägen pro Minute auf. Obgleich die maximale Herzfrequenz nach Longenbelastung höher lag, war kein signifikanter Unterschied zwischen den Herzfrequenzen während der Stressechokardiographie nach Laufband- oder Longenbelastung vorhanden.

##### Ergebnisse der Echokardiographie nach aktiver Stressinduktion auf dem Laufband

Bei der echokardiographischen Untersuchung des Herzens in der Darstellung der langen Achse (von rechts kaudal) zeigten fast alle B-Mode-Werte eine erhöhte Kontraktion des linken Ventrikels nach der Belastung an. Die Messungen der Myokarddicken waren dabei sowohl systolisch als auch diastolisch signifikant grösser und die linksventrikulären Innendurchmesser, Fläche und Volumen signifikant kleiner als in Ruhe. Tabelle 1 zeigt die Werte für die enddiastolischen Parameter und Tabelle 2 für die endsystolischen Parameter zusammengefasst sowie ihre Unterschiede zu den Ruheparametern. Lediglich die Messwerte des Interventrikularseptums unterhalb der Mitralklappe in der Systole (IVS uMV) und die Messwerte der linksventrikulären Hinterwand auf Höhe der Herzspitze (LWV HS) und unterhalb der Mitralklappe (LWV uMV) zeigten sich nicht signifikant größer.

Diese Zunahme der Kontraktilität (Verkürzungsfraction des linken Ventrikels an allen drei Lokalisationen des linken Ventrikels) war im M-Mode ebenfalls signifikant im Vergleich zu den Ruhewerten (Tabelle 3). Dieses zeigte sich in den signifikant vergrösserten Verkürzungsfractionen (FS) an allen gemesse-

**Tab 1** Enddiastolische Werte (Mittelwert und Standardabweichung) des Interventrikularseptums (IVS), des linksventrikulären Durchmessers (LV) und der linksventrikulären Hinterwand (LVW) gemessen jeweils unterhalb der Mitralklappe (uMV), auf Höhe der Papillarmuskulatur (PPM) und an der Herzspitze (HS), sowie der Längsdurchmesser (Lä LV), Fläche (FL) und Volumen (Vol) des linken Ventrikels in Ruhe und nach Laufbandbelastung bei trainierten und untrainierten Pferden (p = statistischer Unterschied).

Parameter	1. Ruhe (HF 36±6)	2. Laufband (HF 114±6)	3. Longe (HF 100)	statistischer Unterschied
IVS HS [mm]	25 ± 1	27 ± 5	27 ± 4	1→2 p < 0,01 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
IVS PPM [mm]	32 ± 1	35 ± 4	35 ± 4	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
IVS uMV [mm]	23 ± 1	25 ± 3	25 ± 3	1→2 p < 0,05 1→3 p < 0,05 2→3 n.s.
LV HS [mm]	72 ± 2	62 ± 8	60 ± 9	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
LV PPM [mm]	100 ± 2	86 ± 10	87 ± 9	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
LV uMV [mm]	123 ± 2	112 ± 9	112 ± 10	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,01 2→3 n.s.
LVW HS [mm]	27 ± 1	28 ± 5	28 ± 4	1→2 n.s. 1→3 p < 0,05 2→3 n.s.
LVW PPM [mm]	28 ± 1	31 ± 6	32 ± 5	1→2 p < 0,01 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
LVW uMV [mm]	21 ± 3	23 ± 4	25 ± 3	1→2 n.s. 1→3 p < 0,01 2→3 n.s.
Lä. LV [mm]	159 ± 5	142 ± 11	142 ± 8	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
Fl. LV [cm <sup>2</sup> ]	159 ± 5	126 ± 13	125 ± 14	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
Vol. LV [ml]	1233 ± 52	894 ± 153	847 ± 145	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.

**Tab 2** Endsystolische Werte (Mittelwert und Standardabweichung) des Interventrikularseptums (IVS), des linksventrikulären Durchmessers (LV) und der linksventrikulären Hinterwand (LVW) gemessen unterhalb der Mitralklappe (uMV), auf Höhe der Papillarmuskulatur (PPM) und an der Herzspitze (HS), sowie der Längsdurchmesser (Lä LV), Fläche (FL) und Volumen (Vol) des linken Ventrikels in Ruhe und nach Laufbandbelastung bei trainierten und untrainierten Pferden (p = statistischer Unterschied).

Parameter	1. Ruhe (HF 36±6)	2. Laufband (HF 114±6)	3. Longe (HF 100)	statistischer Unterschied
IVS HS [mm]	44 ± 1	47 ± 8	47 ± 6	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
IVS PPM [mm]	46 ± 1	50 ± 5	49 ± 4	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
IVS uMV [mm]	29 ± 1	31 ± 4	31 ± 3	1→2 n.s. 1→3 n.s. 2→3 n.s.
LV HS [mm]	32 ± 2	26 ± 8	25 ± 7	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
LV PPM [mm]	48 ± 2	39 ± 10	38 ± 9	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
LV uMV [mm]	83 ± 2	79 ± 8	80 ± 9	1→2 p < 0,01 1→3 p < 0,01 2→3 n.s.
LVW HS [mm]	45 ± 1	46 ± 7	46 ± 7	1→2 p < 0,05 1→3 p < 0,05 2→3 n.s.
LVW PPM [mm]	47 ± 2	51 ± 6	51 ± 6	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
LVW uMV [mm]	34 ± 2	36 ± 4	35 ± 5	1→2 p < 0,01 1→3 p < 0,01 2→3 n.s.
Lä. LV [mm]	126 ± 4	111 ± 13	115 ± 11	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
Fl. LV [cm <sup>2</sup> ]	76 ± 4	63 ± 10	65 ± 13	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
Vol. LV [ml]	395 ± 27	313 ± 67	318 ± 72	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.

nen Lokalisationen. Dahingegen war die Ejektionsfraktion und das linksventrikuläre Schlagvolumen nach Belastung signifikant kleiner als in Ruhe.

*Ergebnisse der Echokardiographie nach aktiver Stressinduktion an der Longe*

Wie auch nach der Laufbandbelastung, zeigten nahezu alle echokardiographischen Parameter nach der Longenbelastung eine signifikante Zunahme der myokardialen Kontraktion (Tabelle 1-3). Lediglich die Ergebnisse der Messungen des Interventrikularseptums unterhalb der Mitralklappe in der Systole und in der Diastole waren nicht signifikant unterschiedlich zu den Ruhewerten. Im Gegensatz zu den Messungen nach der Laufbandbelastung war jedoch nach Longenbelastung das Resultat der Messung der linksventrikulären Hinterwand an allen Lokalisationen in der Systole und in der Diastole signifikant unterschiedlich zu den Ruhewerten (Tabelle 1 und 2).

*Vergleich der echokardiographischen Ergebnisse nach Laufband- und Longenbelastung*

Beim Vergleich der echokardiographischen Parameter zwischen der Belastung auf dem Laufband und an der Longe waren, weder im B-Mode noch im M-Mode, signifikante Unterschiede festzustellen.

**Tab 3** Echokardiographische Parameter (Mittelwert und Standardabweichung) der Verkürzungsfraction unterhalb der Mitralklappe (FS uMV), auf Höhe der Papillarmuskulatur (FS PPM) und an der Herzspitze (FS HS), der Ejektionsfraktion (EF) und des linksventrikulären Schlagvolumens (SV) in Ruhe, nach Laufband- und nach Longenbelastung.

Parameter	1. Ruhe (HF 36 ± 6)	2. Laufband (HF 114 ± 6)	3. Longe (HF 100)	statistischer Unterschied
FS HS (%)	63 ± 7	73 ± 10	71 ± 7	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
FS PPM (%)	51 ± 5	59 ± 8	56 ± 6	1→2 p < 0,01 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
FS uMV (%)	33 ± 3	38 ± 5	37 ± 4	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
EF (%)	68 ± 5	65 ± 6	63 ± 5	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.
SV (ml)	845 ± 94	581 ± 127	529 ± 98	1→2 p < 0,001 1→3 p < 0,001 2→3 n.s.

*Überprüfung der Abhängigkeit echokardiographischer Parameter von der Herzfrequenz nach Laufbandbelastung*

Bei 12 Pferden wurden sowohl bei höheren (1. Messung in den ersten 2 Minuten nach Belastung) als auch bei niedrigeren Herzfrequenzen (2. Messung 3-5 Minuten nach Belastung, im Verlauf der Beruhigungsphase) und bei der Ruheherzfrequenz (3. Messung) echokardiographische Untersuchungen durchgeführt. Dabei zeigten zwar einige echokar-

**Tab 4** Enddiastolische Werte der echokardiographischen Parameter und deren statistischen Unterschiede unmittelbar nach Laufbandbelastung (Herzfrequenz:  $114 \pm 6$ ) sowie während (Herzfrequenz:  $78 \pm 3$ ) und am Ende der Beruhigungsphase (Ruhewert: Herzfrequenz:  $36 \pm 6$ ).

Parameter	1. HF $114 \pm 6$	2. HF $78 \pm 3$	3. HF $36 \pm 6$	statistischer Unterschied
IVS (HS) [mm]	$27 \pm 3$	$25 \pm 3$	$25 \pm 1$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,05$ 2→3 n.s.
IVS (PPM) [mm]	$35 \pm 4$	$32 \pm 4$	$32 \pm 1$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
IVS (uMV) [mm]	$25 \pm 3$	$23 \pm 2$	$23 \pm 1$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,05$ 2→3 n.s.
LV (HS) [mm]	$62 \pm 10$	$71 \pm 8$	$72 \pm 2$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
LV (PPM) [mm]	$86 \pm 9$	$98 \pm 10$	$100 \pm 2$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
LV (uMV) [mm]	$113 \pm 11$	$121 \pm 9$	$123 \pm 2$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
LVW (HS) [mm]	$28 \pm 5$	$26 \pm 6$	$27 \pm 1$	1→2 n.s. 1→3 n.s. 2→3 n.s.
LVW (PPM) [mm]	$32 \pm 5$	$27 \pm 5$	$28 \pm 1$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,01$ 2→3 n.s.
LVW (uMV) [mm]	$23 \pm 4$	$20 \pm 5$	$21 \pm 3$	1→2 n.s. 1→3 n.s. 2→3 n.s.
Lä LV [mm]	$139 \pm 11$	$154 \pm 9$	$159 \pm 5$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
Fl. LV [cm <sub>2</sub> ]	$126 \pm 13$	$160 \pm 5$	$159 \pm 5$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
Vol. LV [ml]	$894 \pm 153$	$1210 \pm 60$	$1233 \pm 52$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.

diographische Parameter signifikante Unterschiede zwischen den ersten beiden Messungen nach der Belastung, jedoch war kein echokardiographischer Messwert nach der 2. Messung signifikant unterschiedlich zu den in Ruhe gemessenen Parametern (3. Messung, Tabellen 4-6).

## Diskussion

Die Darstellung und Untersuchung des Herzens während Belastung erfolgt beim Menschen mit Hilfe der Stressechokardiographie (Moltzahn und Zeydabadinejad 1996, Haug 1998, Hoffmann 2002, Furukawa et al. 1984). Dabei reagiert beim gesunden Menschen der linke Ventrikel auf eine aktive oder passive, medikamentöse Belastung mit einer verstärkten myokardialen Verdickung, einer Verkleinerung der endsystolischen linksventrikulären Kavität, einem Anstieg der endokardialen Einwärtsbewegung und mit einer erhöhten Kontraktionsgeschwindigkeit (Hoffmann 2002).

Beim Pferd schließt die Bewegung des Olekranons eine transthorakale Echokardiographie während einer aktiven Belastung aus (Reef et al. 1994, Reef 1997). Deshalb kann die aktive Stressechokardiographie beim Pferd nur unmittelbar nach der Stressinduktion durchgeführt werden. Zur aktiven Stressinduktion wurde in der vorliegenden Studie ein standardisierter Stufenbelastungstest auf dem Laufband (Gehlen et al. 2003a) und eine standardisierte Belastung an der Longe herangezogen. Diese Belastung an der Longe wurde bereits

**Tab 5** Endsystolische Werte der echokardiographischen Parameter und deren statistischen Unterschiede unmittelbar nach Laufbandbelastung (Herzfrequenz:  $114 \pm 6$ ) sowie während (Herzfrequenz:  $78 \pm 3$ ) und am Ende der Beruhigungsphase (Ruhewert: Herzfrequenz:  $36 \pm 6$ ).

Parameter	1. HF $114 \pm 6$	2. HF $78 \pm 3$	3. HF $36 \pm 6$	statistischer Unterschied
IVS (HS) [mm]	$48 \pm 7$	$43 \pm 8$	$44 \pm 1$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
IVS (PPM) [mm]	$50 \pm 5$	$44 \pm 6$	$46 \pm 1$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
IVS (uMV) [mm]	$31 \pm 4$	$28 \pm 4$	$29 \pm 1$	1→2 n.s. 1→3 n.s. 2→3 n.s.
LV (HS) [mm]	$24 \pm 9$	$33 \pm 13$	$32 \pm 2$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
LV (PPM) [mm]	$38 \pm 11$	$49 \pm 16$	$48 \pm 2$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
LV (uMV) [mm]	$81 \pm 10$	$90 \pm 14$	$83 \pm 2$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,01$ 2→3 n.s.
LVW (HS) [mm]	$46 \pm 7$	$45 \pm 6$	$45 \pm 1$	1→2 n.s. 1→3 n.s. 2→3 n.s.
LVW (PPM) [mm]	$51 \pm 6$	$48 \pm 5$	$47 \pm 2$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,01$ 2→3 n.s.
LVW (uMV) [mm]	$36 \pm 4$	$35 \pm 5$	$34 \pm 2$	1→2 n.s. 1→3 n.s. 2→3 n.s.
Lä LV [mm]	$108 \pm 12$	$119 \pm 9$	$126 \pm 4$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
Fl. LV [cm <sub>2</sub> ]	$63 \pm 10$	$70 \pm 5$	$76 \pm 4$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
Vol. LV [ml]	$313 \pm 67$	$360 \pm 40$	$395 \pm 27$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.

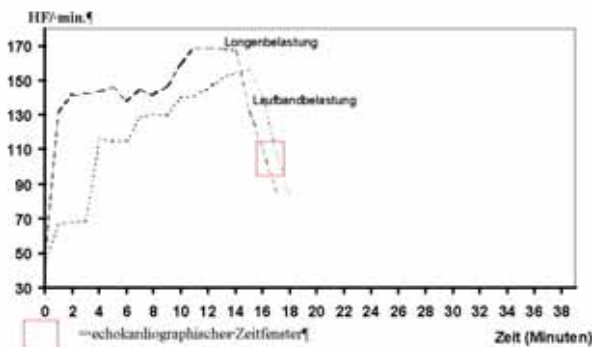
**Tab 6** Echokardiographische Parameter (Mittelwert und Standardabweichung) der Verkürzungsfraktion (FS), der Ejektionsfraktion (EF) und des linksventrikulären Schlagvolumens (SV) und deren statistischen Unterschiede in Ruhe, unmittelbar nach Laufbandbelastung (Herzfrequenz:  $114 \pm 6$ ) sowie während (Herzfrequenz:  $78 \pm 3$ ) und am Ende der Beruhigungsphase (Ruhewert: Herzfrequenz:  $36 \pm 5$ ).

Parameter	1. HF $114 \pm 6$	2. HF $78 \pm 3$	3. HF $36 \pm 6$	statistischer Unterschied
FS HS (%)	$73 \pm 10$	$64 \pm 4$	$63 \pm 7$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
FS PPM (%)	$59 \pm 8$	$52 \pm 4$	$51 \pm 5$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
FS uMV (%)	$38 \pm 5$	$33 \pm 4$	$33 \pm 3$	1→2 $p < 0,05$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.
EF (%)	$65 \pm 6$	$66 \pm 5$	$68 \pm 5$	1→2 n.s. 1→3 $p < 0,01$ 2→3 n.s.
SV (ml)	$581 \pm 127$	$840 \pm 87$	$845 \pm 94$	1→2 $p < 0,01$ 1→3 $p < 0,001$ 2→3 n.s.

vor Einführung des Laufbandes über viele Jahre routinemäßig für die elektrokardiographische Untersuchung nach Belastung eingesetzt.

Da insbesondere trainierte Pferde nach Belastung einen raschen Abfall der Herzfrequenz zeigen (Ehrlein et al. 1973, Foreman et al. 1990, Rose et al. 1983,) ist eine Stressechokardiographische Untersuchung nur eingeschränkt durchführbar (Marsland 1968, Persson 1967, Physick-Sheard 1985, Reef 2001).

In der vorliegenden Studie sank die Herzfrequenz nach Beenden der aktiven Belastung innerhalb von wenigen Minuten, wie auch in Untersuchungen anderer Autoren beschrieben (Marsland 1968, Persson 1967, Physick-Sheard 1985, Reef 2001), ab. Deshalb kann eine echokardiographische Untersuchung nach aktiver Belastung und bei Herzfrequenzen von ca.  $109 \pm 10$  bis  $89 \pm 9$  nur unter starkem Zeitdruck (in einem Zeitraum von ca. 1 bis 2 Minuten) erfolgen und eine Wiederholung der Laufband- oder Longenbelastung erforderlich werden. Bei Untersuchungen mit gezielter Fragestellung (z.B. liegt eine linksventrikuläre Wandbewegungsstörung nach Belastung vor?) reicht dagegen in der Regel die Untersuchungszeit nach einer einmaligen aktiven Belastung sowohl auf dem Laufband als auch an der Longe aus. Bei beiden Belastungsarten wird eine ausreichende Steigerung der Herzfrequenz erreicht. Trotz geringer Einschränkungen im Vergleich zum Menschen erscheinen beide Methoden zur aktiven Stressinduktion beim Pferd geeignet.



**Abb 1** Herzfrequenzverlauf während und nach aktiver Laufband- bzw. Longenbelastung sowie echokardiographisches Zeitfenster nach aktiver Belastung.

Unter Belastung werden bei Pferden im Springsport Herzfrequenzen bis maximal 190 (Art et al. 1990) und im Dressursport bis  $154 \pm 18$  Schläge pro Minute erreicht (Schöneseifen 2000).

In der vorliegenden Studie wurden bei der aktiven Stressinduktion Herzfrequenzen von bis zu 180 Schlägen pro Minute erreicht. Diese Herzfrequenz wird auch bei realer sportlicher Belastung von Warmblutpferden gemessen.

Beim Menschen und beim Kleintier ist ein signifikanter Einfluss der Herzfrequenz auf die linksventrikulären Herzdimensionen bei Belastung beschrieben (Pierard et al. 1987). Auch die vorliegende Studie zeigt zum Teil signifikante Veränderungen echokardiographischer Messungen bei Herzfrequenzen über 80 Schlägen pro Minute. Deshalb sollte die stressechokardiographische Untersuchung bei Herzfrequenzen unter 80 Schlägen pro Minute abgebrochen, und die Untersuchung eventuell wiederholt werden (Haug 1998). In der Humankardiologie zeigten sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen Ruhe- und Belastungswerten. echokardiographische Messwerte trainierter Menschen waren bereits 2 Minuten nach Ende einer Fahrradbelastrung wieder im Ruhebereich (Corallo et al. 1981).

Zur Beurteilung der Stressinduktion auf dem Laufband bzw. an der Longe wurden einerseits die Herzfrequenz und andererseits echokardiographische Parameter der globalen und

regionalen linksventrikulären Funktion untersucht. Da der linke Ventrikel als größte und muskelstärkste Kammer des Herzens den systemischen Kreislauf aufrecht hält (Antoni 2000, Flachskampf 2001, Harmeyer 2000, Silbernagel und Despopoulos 2001) und beim Pferd die meisten Erkrankungen aufweist (Reef et al. 1998, Long et al. 1992, Gehlen et al. 2003b), konzentrierte sich die vorliegende Studie auf Parameter der linksventrikulären Herzfunktion. Mit Hilfe der Echokardiographie konnte beim gesunden Pferd, wie beim Menschen, eine hoch signifikant verstärkte Kontraktion des Myokards nach der aktiven Laufband- und Longenbelastung nachgewiesen werden. Insbesondere das Schlagvolumen und das enddiastolische Volumen waren nach Belastung signifikant angestiegen. Auch beim Menschen kommt es unter Belastung zu einer Steigerung des Herzschlagvolumens, das bei gering- bis mittelgradiger Belastungsintensität allerdings zunächst ein Plateau erreicht. In dieser Plateau-Phase wird ein zunächst gesteigerter Sympthatikuston, ein Druckanstieg im



**Abb 2** Auswertung der echokardiographischen Aufzeichnung (Vierkammerblick), zu Beginn und am Ende der Beruhigungsphase nach Stressinduktion durch die Laufbandbelastung.

Abdomen sowie eine Steigerung des vaskulären Druckes nach Kontraktion der großen Körpermuskeln, durch die periphere Vasodilatation in der frühen Belastungsphase, kompensiert. In der späten Phase der Belastung wird das Herzminutenvolumen vorrangig durch die Erhöhung der Herzfrequenz stabil gehalten. Der nach Druckerhöhung gesteigerte venöse Rückfluss, entsteht durch die z.T. kontrovers diskutierte belastungsinduzierte Umformung des Herzens (Bassenge 1986).

Immerhin zeigte sich in der hier vorliegenden Untersuchung, dass auch beim Pferd nach Belastung eine signifikante Vergrößerung des diastolischen linksventrikulären Durchmessers auftritt. Das könnte ein Hinweis dafür sein, dass der Frank-Starling Mechanismus nicht nur in einer Verringerung des systolischen Residualvolumens, auf Grund einer erhöhten myokardialen Kontraktilität in Belastung (Reindel 1964), sondern tatsächlich auch in einer erhöhten Vorfüllung, die zu vermehrter Druck- und/oder Volumenarbeit führt, begründet ist (Starling 1918).

Beim Menschen zeigen neuere Untersuchungen, dass Ausdauerbelastung zu signifikant größeren Schlagvolumina und enddiastolischen Volumina führten, als Sportarten mit Kurzzeitbelastung (Di Bello et al. 1996, Warburton et al. 2002). Dieses wird von einigen Autoren auf eine verbesserte Nutzung des Frank-Starling-Mechanismus bei Ausdauersportlern zurückgeführt.

Wie beim Pferd die Vergrößerung des enddiastolischen Volumens in Belastung als Ursache für ein erhöhtes Schlagvolumen im Sinne des Frank-Starling-Mechanismus zu interpretieren ist, ist derzeit ungeklärt. Unbestritten ist beim Menschen jedoch, dass bei Belastung trotz verkürzter Kontraktionszeit die gesteigerter Kontraktilität des Myokards das Schlagvolumen konstant hält (Rowland et al. 2000).

Ein echokardiographischer Parameter zur Ermittlung der Kontraktilität des linken Ventrikels ist sowohl in der Humanmedizin (Jensen-Urstad et al. 1998, Furukawa et al. 1984) als auch beim Pferd die Verkürzungsfraktion in Prozent (FS %). Beim Menschen steigt der Wert für die Verkürzungsfraktion des Myokards unter Fahrradbelastung von 29 auf 47 % (Rowland et al. 2000). Auch in der hier vorliegenden Studie wurde eine signifikante Steigerung der Verkürzungsfraktion bei gesunden Pferden unter Belastung festgestellt. Hieraus ergibt sich, dass analog zur Humanmedizin, die Belastung an der Longe und auf dem Laufband zu Veränderungen der Myokardkinetik gesunder Pferde führt.

Die Durchführung von Laufbanduntersuchungen bedeutet für eine tierärztliche Klinik einen hohen finanziellen, technischen und personellen Aufwand, da neben der Anschaffung eines Hochgeschwindigkeitslaufbandes auch ein geschultes Personal und ausreichend Zeit für das Antrainieren der Pferde auf dem Laufband zur Verfügung stehen muss. Dagegen sind fast alle Pferde während der Ausbildung zum Reitpferd an die Longenarbeit gewöhnt. Somit ist die Longenbelastung insbesondere unter Praxisbedingungen einfach durchführbar. Für wissenschaftliche Fragestellungen ist jedoch die Laufbandbelastung besser geeignet, da durch die Vorgabe von Laufgeschwindigkeit und Steigung eine noch weitergehende Standardisierung möglich ist (Seehermann et al. 1990).

Zusammenfassend haben die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit gezeigt, dass die Stressechokardiographie beim Pferd nach Longen- bzw. Laufbandarbeit möglich ist. Dabei kann zur Stressechokardiographie im klinischen Alltag die Longenbelastung und zur Klärung wissenschaftlicher Fragestellungen die Laufbandbelastung herangezogen werden. Die Stressechokardiographie des gesunden Warmblutherzens kann die Grundlage, insbesondere zur Untersuchung bei Warmblut-sportpferden mit dem Verdacht auf gering- bis mittelgradige Herzerkrankungen, darstellen. Ob auch eine „Früherkennung“ von Herzerkrankungen, für die im Rahmen der Ruheuntersuchung keine Hinweise erhalten werden können, möglich sein wird, müssten weitere Untersuchungen zeigen. Dabei könnten Hinweise auf Kompensations- bzw. Dekompensationsstadien (kardiales Remodeling) des krankheitsverdächtigen Herzens auf Grund des myokardialen Verhaltens unter Belastung mit Hilfe der hier vorgestellten B-Mode- und M-Modetechnik, evtl. aber auch mit Hilfe der noch zu untersuchenden Dopplerechokardiographie, gewonnen werden.

### Abkürzungen in den Abbildungen und Tabellen

Hf	= Herzfrequenz
LV	= linker Ventrikel
HS	= kurz vor der Herzspitze
LVW	= linksventrikuläre Wand

PPM	= auf Höhe der Papillarmuskulatur
uMV	= unterhalb der Mitralklappe
Lä	= Längsachse
n.s.	= nicht signifikant
EF	= Ejektionsfraktion
Vol	= Volumen
Fl.	= Fläche
SV	= Schlagvolumen
IVS	= interventrikuläres Septum
FS HS	= Verkürzungsfraktion des linken Ventrikels kurz vor der Herzspitze
FS PPM	= Verkürzungsfraktion des linken Ventrikels auf Höhe der Papillarmuskeln
FS uMV	= Verkürzungsfraktion des linken Ventrikels unterhalb der Mitralklappe

### Literatur

- Antoni H. (2000): Mechanik der Herzaktion. In: Schmidt R. F., Thews G. und Lang F. (Hrsg.), Physiologie des Menschen. 28. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 448 – 471
- Art T., H. Amory, D. Desmecht und P. Lekeux (1990): Effect of show jumping on heart rate, blood lactate and other plasma biochemical values. *Equine Vet. J., Suppl. 9*, 78-82
- Bassenge E. und Trogisch G. (1986): Die Bedeutung des Endothels für die Gefäßregulation. In: Vasoaktive Substanzen bei Herzinsuffizienz. Bussman W. D. und Just H. (Hrsg.), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Tokio, New York, 11
- Bertone J. J., Paull K. S., Wingfield W. E. und Boon J. A. (1987): M-mode echocardiographs of endurance horses in the recovery phase of long-distance competition. *Am. J. Vet. Res.* 48, 1708-1712
- Corallo S., Broso G., Pirastu A., Segà R., Bozzi G., Garimoldi M., Ravag und Castelfranco M. (1981): Echocardiographic study of left ventricular performance during sitting bicycle exercise. *G. Ital. Cardiol.* 11, 1072-1082
- Di Bello V., G. Santoro, L. Talaric, C. Di Muro, M. T. Caputo, D. Giorgi., A. Bertini, M. Bianchi und C. Giusti (1996): Left ventricular function during exercise in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports Exerc.* 28, 190-196
- Ehrlein H.-J., H. Hörnicke, W. von Engelhardt und G. Tolkmitt (1973): Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung als Maß für die Leistungsfähigkeit von Pferden. *Zbl. Vet. Med. A* 20, 188-208
- Flachskampf F. A. (2001): Kursbuch der Echokardiographie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 12-42
- Foreman J. H., W. M. Bayly, B. D. Grant und P. D. Gollnick (1990): Standardized exercise test and daily heart rate response of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *Am. J. Vet. Res.* 51, 914-920
- Furukawa K., H. Kitamura, K. Nishida, C. Yamada und S. Niki (1984): Simultaneous changes of left ventricular and left atrial size and function in normal subjects during exercise. *Japanese Heart Journal* 25, 487-497
- Gehlen H., K. Bubeck und P. Stadler (2003a): Lungenkapillardruck- und Herzfrequenzmessungen unter standardisierter Laufbandbelastung zur Erweiterung der linksatrialen Funktionsdiagnostik beim Warmblutpferd. *Dt. Tierärztl. Wschr.* 110, 269-308
- Gehlen H., J. C. Vieht und P. Stadler (2003b): Effects of the ACE Inhibitor Quinapril on Echocardiographic Variables in Horses with Mitral valve insufficiencies. *J. Vet. Med. A* 50, 460-465
- Gehlen H., S. Marnett, K. Rohn und P. Stadler (2005): The Influence of Adrenaline on Echocardiographic Parameters of Left Ventricular Function in the Horse. *Equine and Comp. Exerc. Physiol.*, 2005, accepted.
- Harmeyer J. (2000): Herz. In: Engelhardt, W. und G. Breves, G. (Hrsg.): Physiologie der Haustiere. 1. Aufl., Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 136-157

- Haug G. (1998): Stressechokardiographie. Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH & Co. KG, Darmstadt, 32-38
- Hirgata A., M. Kai, K. Kubo und S. Susano (1997): The effect of training intensity on cardiopulmonary function in 2-years-old thoroughbred horses. *J. Equine Sci.* 8, 75–80
- Hoffman R. (2002): Stressechokardiographie zur Ischämiediagnostik. In: *Praxis der Echokardiographie Flachskampf FA* (Ed) 2. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 183–203
- Jensen-Urstad M., Bouvier F., Nejat M., Saltin B. und Brodin L. A. (1998): Left ventricular function in endurance runners during exercise. *Acta Physiologica. Scandinavica* 164, 167-172
- Long K. J., J. D. Bonagura und G. P. Darke (1992): Standardized imaging technique for guided M – mode and Doppler echokardiography in the horse. *Equine Vet. J.* 24, 226–235
- Marr C. M., Bright J. M., Marlin D. J., Harris P. A. and Roberts C. A. (1999): Pre- and post exercise echocardiography in horses performing treadmill exercise in cool and hot/humid conditions. *Equine Veterinary Journal Supplements* 30, 131-136
- Marsland W. P. (1968): Heart rate response to submaximal exercise in standardbred horse. *J. Appl. Physiol.* 24, 98–101
- Moltzahn S. und Zeydabadinejad M. (1996): Stressechokardiographie: Eine Einführung. 1. Aufl., Georg Thieme Verlag, 12-26
- Patteson M. W., Gibbs C., Wotton R. P. und Cripps P. J. (1995): Echocardiographic measurements of cardiac dimensions and indices of cardiac function in normal adult Thoroughbred horses. *Equine vet. J. Suppl.* 19, 18–27
- Persson S. G. B. (1967): On blood volume and working capacity in horses. *Acta Vet. Scand. Suppl.* 19, 1-189
- Physick-Sheard P. W. (1985): Cardiovascular Response to Exercise and Training in the Horse. *Vet. Clin. North Am.: Equine Practice* 1, 383–417
- Pierard L. A., Serruys P. W., Roelandt J. und Meltzer R. S. (1987): Left ventricular function at similar heart rates during tachycardia induced by exercise and atrial pacing: an echocardiographic study. *British Heart Journal* 57, 154-60
- Reef V. B., Maxson A. D. und Lewis M. (1994): Echocardiographic and ECG changes in horses following exercise. *Proc. Am. Coll. Vet. Intern. Med.*, 256–258
- Reef V. B. (1997): Electrocardiography and echocardiography in the exercising horse. In: *Robinson N. E. (Hrsg.): Current therapy in Equine medicine.* W. B. Saunders, Philadelphia, 234–239
- Reef V. B. (2001): Stressechokardiographie and its Role in Performance Assessment. *Equine Practice* 17, 179–189
- Reef V. B., F. T. Bain und P. A. Spencer (1998): Severe mitral regurgitation in horses: clinical, echocardiographical and pathological findings. *Equine Vet. J.* 30, 18-27
- Reindel H. (1964): Beitrag der Klinik zur Dynamik des Herzens. *Verh. Dtsch. Ges. inn. Med.* 70, 100
- Rose R. J., J. R. Allen, D. R. Hodgson, J. H. Stewart und W. Chan (1983): Response to submaximal treadmill exercise and training in the Horse: Changes in haematology, arterial blood gas and acid base measurements, plasma biochemical values and heart rate. *Vet. Rec.* 113, 612–618
- Rowland T., Unnithan V., Fernhall B., Baynard T. und Lange C. (2002): Left ventricular response to dynamic exercise in young cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 637–642
- Sampson S. N., Tucker R. L. und Bayly W. M. (1999): Relationship between  $VO_{2max}$ , heart score and echocardiographic measurements obtained at rest and immediately following maximal exercise in thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal Supplement* 30, 190-194
- Schöneseifen N. (2000): Untersuchungen zu Ausfällen bei Reitpferden sowie Belastung und Beanspruchung von Dressurpferden im Training. Bonn, Fakultät für Landwirtschaft, Diss.
- Seehermann H. J., Morris E. und Callaghan M. W. (1990): The use of sports medicine techniques in evaluating the problem equine athlete. *Vet. Clin. North Am.: Equine Pract.* 6, 239–274
- Sheikh K.H., Bengston J.R., Helmy Sherif R., Juarez C., Burgess R., Bashore T. M. und Kisslo J. (1990): Relation of Quantitative Coronary Lesion Measurements to the Development of Exercise-Induced Ischemia Assessed by Exercise Echocardiography. *J Am. Coll. Cardiol.* 15, 1043–1051
- Silbernagel S. und Despopoulos A. (2001): Taschenatlas der Physiologie. 5. Aufl., Georg Thieme Verlag Stuttgart und Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 194–204
- Sklenar J., Camarano G., Goodman C., Ismail S., Jayaweera A. R. und Kaul S. (1996): Contractile Versus Microvascular Reserve for the Determination of the extent of Myocardial Salvage after Reperfusion. The Effect of Residual Coronary Stenosis. *Circulation* 94, 643–650
- Stadler P., U. D'Agostino und E. Deegen (1988): Methodik der Schnittbildechokardiographie beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 4, 161–174
- Stadler P., Rewel A. und 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. und F. Robine (1996): Die Kardiometrie beim gesunden Warmblutpferd mit Hilfe der Schnittbildechokardiographie im B-Mode. *Pferdeheilkunde* 12, 35-43
- Starling E. H. (1918): The Linacre lecture on the law of the heart. New-York, London: Longmans, Green & Co, 5-10
- Warburton D. E., Haykowsky M. J., Quinney H. A., Blackmore D., Teo K. K. und Humen D. P. (2002): Myocardial response to incremental exercise in endurance-trained athletes: influence of heart rate, contractility and the Frank-Starling effect. *Experimental Physiology* 87, 613-622

Dr. Heidrun Gehlen  
Klinik für Pferde  
Tierärztliche Hochschule Hannover  
Bischofsholer Damm 115  
D-30173 Hannover  
heidrun.gehlen@tiho-hannover.de

Pferdeheilkunde Curriculum Berlin

# Myologie, Leistungsdiagnostik, Doping

Marianne Sloet und Arno Lindner

24.–25. September 2005

[www.pferdeheilkunde.de](http://www.pferdeheilkunde.de)