

ISBN 3-432-91941-7

Echokardiographie zur Funktionsbeurteilung des Herzens

von

Gerrit Simon, Hans-Hermann Dickhuth,
Joseph Keul

ISBN 3-432-91941-7

Echokardiographie zur Funktionsbeurteilung des Herzens

von

Gerrit Simon, Hans-Hermann Dickhuth,
Joseph Keul

Priv.-Doz. Dr. med. Gerrit Simon
Oberfeldarzt
Leiter der Sportmedizinischen Abteilung
Sportschule der Bundeswehr Warendorf

Dr. med. Hans-Hermann Dickhuth
Medizinische Universitätsklinik Freiburg

Professor Dr. med. Joseph Keul
Ärztlicher Direktor
Abteilung Sport- und Leistungsmedizin
der Medizinischen Universitätsklinik Freiburg

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Simon, Gerrit:

Echokardiographie zur Funktionsbeurteilung des
Herzens / G. Simon ; H.-H. Dickhuth ; J. Keul.
Med. Universitätsklinik Freiburg i. Br., Lehr=
stuhl u. Abt. für Leistungsmedizin. -
Stuttgart : Enke, 1981.

ISBN 3-432-91941-7

Erscheint als: Enke-Copythek

NE: Dickhuth, Hans-Hermann.; Keul, Joseph:

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung
und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein
Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie,
Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche
Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

© 1981 Ferdinand Enke Verlag, POB 1304, 7000 Stuttgart 1
Printed in Germany

VORWORT	1
I. EINLEITUNG	2
1. Einführung	2
2. Geschichtlicher Überblick	4
3. Physikalische Grundlagen der Ultraschalldiagnostik	6
II. UNTERSUCHUNGSGUT UND METHODIK	11
1. Untersuchungsgut	11
2. Untersuchungsmethoden	11
2.1. Echokardiographie	11
2.2. Ergometerbelastung	23
2.3. Einschwemmkatheteruntersuchung	23
2.4. Spiroergometrie	24
2.5. Herzvolumenbestimmung	25
3. Statistik	25
4. Kritik der Methoden	26
III. ERGEBNISSE	28
1. Echokardiographische und anthropometrische Größen bei Normalpersonen	28
1.1. Echokardiographische Größen in Abhängigkeit vom Alter	28
1.2. Echokardiographische Größen in Abhängigkeit von den Körpermaßen	28
1.3. Echokardiographische Größen in Abhängigkeit vom Körpergewicht	33
2. Echokardiographische und anthropometrische Größen bei Sportlern	43
2.1. Echokardiographische Größen bei jugendlichen Trainierten	43
2.2. Echokardiographische Größen bei erwachsenen Hochleistungssportlern	43
2.3. Echokardiographische Größen bei Hochleistungssportlerinnen	49

	Seite
3. Echokardiographische Größen während dynamischer Belastung	53
4. Echokardiographische und invasive Größen unter Belastung	61
4.1. Echokardiographische Befunde	61
4.2. Invasive Befunde	61
4.3. Echokardiographische und invasive Befunde nach Betarezeptorenblockade	65
4.4. Beziehungen zwischen echokardiographischen und invasiven Größen	69
5. Echokardiographische Größen und röntgenologisches Herzvolumen	71
6. Echokardiographische Größen, Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffpuls	74
IV. DISKUSSION	77
V. SCHLUSSBETRACHTUNG	115
VI. ANHANG	119
Tabellen I-IV	119
Abkürzungen	125
Literaturverzeichnis	127

VORWORT

Das Herz stellt für den gesunden Menschen in der Regel einen wesentlichen, wenn nicht den begrenzenden Faktor für das körperliche Leistungsvermögen dar. Entscheidende Bedeutung kommt der Bewertung des kardialen Funktionszustandes bei pathologischen Zuständen des Herzens zu, wesentlich ist sie auch für die Leistungsbeurteilung beim Gesunden. Unter den zahlreichen invasiven und nicht invasiven Verfahren zur kardialen Funktionsbeurteilung hat während der letzten Jahre die Echokardiographie zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Möglichkeit, risikolos zu einer Beurteilung der Klappenfunktion, der inneren Größenverhältnisse und der Bewegungsabläufe des Herzens zu kommen, sicherte der Methode eine große Verbreitung.

Wie bei anderen diagnostischen Methoden ist jedoch eine Abgrenzung krankhafter Befunde nur bei Kenntnis der Normgrößen und ihrer physiologischen Varianten möglich, deren systematische Darstellung bisher noch aussteht. So war ein Ziel der Untersuchungen die Erstellung von Normwerten anatomischer und funktioneller echokardiographischer Größen. Die Einbeziehung von Extremvarianten als Folge intensiver körperlicher Aktivität sollte einerseits dazu dienen, die Fehleinschätzung physiologischer kardialer Anpassungsvorgänge als krankhaft zu vermeiden, andererseits sollte sie Einblicke in die unterschiedlichen Adaptationsmöglichkeiten des Herzens an verschiedene körperliche Belastungsformen gewähren.

Durch den Vergleich und die Verknüpfung mit bewährten kardiologischen und leistungsphysiologischen Untersuchungsmethoden wurde eine Abschätzung der Möglichkeiten und Grenzen des noch relativ neuen echokardiographischen Verfahrens für die Beurteilung von Morphologie und Funktion des Herzens angestrebt.

Dem mit der Echokardiographie befaßten Arzt will diese Darstellung Normwerte in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Körpermaßen zur Differenzierung physiologischer und pathologischer Befunde an die Hand geben. Dem leistungsphysiologisch interessierten Mediziner will sie einen Einblick in die echokardiographisch gesicherten Veränderungen der Anatomie und Arbeitsweise des Herzens unter dem Einfluß körperlicher Aktivität vermitteln.

Danken möchten wir an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. H. Reindell für zahlreiche Anregungen und Diskussionsbemerkungen, die wesentlich zur Bereicherung der Darstellung beigetragen haben.

Dem Bundesinstitut für Sportwissenschaften Köln-Lövenich und dem Bundesministerium des Innern sei für seine großzügige Unterstützung gedankt, ohne die die Untersuchungen nicht möglich gewesen wären.

I. EINLEITUNG

1. Einführung

Die Echokardiographie hat Einblicke in die Morphologie des Herzens und seine Arbeitsweise eröffnet, wie sie bisher nur teilweise durch eingreifende Untersuchungsmethoden möglich waren. Die risikolose Anwendbarkeit dieses Verfahrens und seine hohe Aussagekraft haben ihm für zahlreiche Fragestellungen in der kardiologischen Diagnostik einen festen Platz gesichert. Eine umfangreiche Literatur über echokardiographische Befunde aus der klinischen und experimentellen Kardiologie zeugt von dem großen Interesse an diesem diagnostisch bedeutsamen Verfahren.

Fehlende Gefährdung und Belästigung des Untersuchten lassen die Echokardiographie auch für die Klärung leistungsphysiologischer Fragestellungen bei Gesunden geeignet erscheinen, bei denen sich invasive Untersuchungsmethoden als Routineverfahren verbieten würden. So beschäftigen sich zahlreiche Darstellungen mit echokardiographischen Befunden bei Normalpersonen (12, 74, 99, 158, 197), teilweise wurden Sportler als Normvarianten in die Untersuchungen einbezogen (1, 15, 28, 100, 173). Ein systematischer Vergleich echokardiographischer Befunde von Normalpersonen und Sportlern mit trainingsbedingten Auswirkungen auf das Herz steht jedoch noch aus. Vielfältige Abweichungen von der Norm durch Trainingsanpassungen wurden u.a. für die Herzgröße (79, 91, 150, 153, 163, 164), das EKG (9, 68, 85, 133, 151, 161, 167, 198, 199) und die Arbeitsweise des Herzens (89, 98, 169, 203) beschrieben. Dabei fällt die Differenzierung in physiologische und pathologische Befunde teilweise schwer, häufig ist eine zutreffende Beurteilung erst durch die Verknüpfung der kardiologischen Befunde mit leistungsphysiologischen Größen möglich.

Ähnliche Schwierigkeiten treten bei der Abgrenzung des "Normbereiches" echokardiographischer Größen auf, wobei die Kenntnis der physiologischen Variationsbreite für die Unterscheidung zwischen normalen und krankhaften Befunden von besonderer Bedeutung ist. Daher war das Ziel dieser Arbeit die systematische Darstellung folgender Punkte:

1. Bestimmung echokardiographischer Normwerte bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen,
2. Ermittlung der physiologischen Variationsbreite, insbesondere durch die Einbeziehung von Sportlern,
3. Bewertung echokardiographischer Größen durch Vergleich mit invasiven Untersuchungsergebnissen,
4. Analyse der echokardiographischen Veränderungen und damit der Arbeitsweise des normalen und des hypertrophierten, dilatierten Herzens (Sporthertz) unter Ruhe- und Belastungsbedingungen,
5. Überprüfung der Beziehungen zwischen röntgenologischem Herzvolumen, Sauerstoffaufnahme, ergometrischer Leistungsfähigkeit und echokardiographischen Größen.

2. Geschichtlicher Überblick

Die Anfänge der Ultraschalltechnik lassen sich bis in das 19. Jahrhundert zurückverfolgen, als mittels einer Pfeife Schallwellen jenseits der menschlichen Hörschwelle erzeugt wurden. Umfangreiche Anwendung fand der Ultraschall für militärische Zwecke. Bereits im ersten Weltkrieg diente er zur Entdeckung von Unterwasserobjekten, in wesentlich größerem Umfang wurden Ultraschallgeräte - als Sonar bezeichnet - während des zweiten Weltkrieges zur Ortung unterseeischer Objekte, insbesondere von Unterseeboten eingesetzt.

Außer zu militärischen Zwecken fand der Ultraschall eine bis in unsere Tage wichtige technische Anwendung in der Prüfung fester Werkstoffe und Metalle auf innere Materialfehler und Risse (52, 187). In der Medizin wurde Ultraschall nach ersten Versuchen seiner Nutzung für die Therapie von Neuralgien (138) etwa 1940 erstmals für diagnostische Fragestellungen verwandt (32, 66). Die Möglichkeit, innere Grenzflächen des Körpers darzustellen, führte nach Ende des zweiten Weltkrieges zu Untersuchungen an fast allen inneren Organen. Ähnlich der röntgenologischen Methode versuchte KEIDEL Aufschluß über Herzgrößenverhältnisse mit dem Durchschallverfahren zu gewinnen (87). Erste Beobachtungen von Herzstrukturen durch das Echoverfahren mit reflektiertem, intermittierend ausgesandtem Ultraschall wurden 1954 in Schweden durch EDLER und HERTZ (36) beschrieben. Während der folgenden Jahre gelangen diesen Untersuchern als bahnbrechende Erfolge die Identifikation des vorderen Mitralsegels und der Nachweis eines veränderten Bewegungsmusters bei der Mitralstenose (33, 34). Von der in Deutschland auf diesem Gebiet tätigen Arbeitsgruppe um EFFERT wurde 1959 der Nachweis von Vorhoftumoren mittels Ultraschall mitgeteilt (37). 1961 beschrieb EDLER die Möglichkeit einer Ultraschalldiagnostik bei Mitralstenose, Vorhoftumor, Aortenstenose und vorderem Perikarderguß (35).

1965 veröffentlichten FEIGENBAUM und Mitarbeiter in den USA diagnoseweisende Ultraschallbefunde bei hinterem Perikarderguß (47). Im Anschluß daran erlebte die Verbreitung dieser nichtinvasiven kardiologischen Untersuchungsmethode in den Vereinigten Staaten eine stürmische Entwicklung. Wesentlichen Anteil an der Ausweitung der diagnostischen Möglichkeiten hatte auch die technische Verbesserung der Ultraschallgeräte. In der zweiten Hälfte der sechziger Jahre gelangen wesentliche Fortschritte mit der nunmehr als "Echokardiographie" bezeichneten Methode in der Diagnostik der Mitralstenose (80), des Mitralklappenprolaps (31), der Aorteninsuffizienz (204) und der subvalvulären Aortenstenose (140, 181). Daneben beschäftigten sich zahlreiche Untersuchungen mit den linksventrikulären Größenverhältnissen (142) und Wanddicken (44, 195) sowie mit den Möglichkeiten, aus diesen Größen auf die Hämodynamik und Arbeitsweise des Herzens zu schließen (48, 49, 55, 141). Eine methodische Untermauerung erfuhren die Aussagen über Strukturen und Größenverhältnisse des Herzens durch die echokardiographische Darstellung intrakardialer Farbstoff- oder Kochsalzinjektionen durch GRAMIAK (69) und FEIGENBAUM (46).

Mit der Möglichkeit, die Abmessungen der Herzinnenräume und der Ventrikelwände in systolischer und diastolischer Endstellung, die Bewegungen der Klappen und den systolischen Kontraktionsablauf darzustellen, kann die echokardiographische Untersuchung derzeit wesentliche Erkenntnisse über die Strukturen und die Arbeitsweise des Herzens liefern. Weitere Verbesserungen der Darstellung im time-motion-Verfahren, die Einführung der zweidimensionalen Echokardiographie sowie neue Möglichkeiten der Auswertung lassen ein Ende der Entwicklung und der Anwendbarkeit der Methode noch nicht absehen.

3. Physikalische Grundlagen der Ultraschall Diagnostik

Die Ultraschall Diagnostik beruht auf dem Prinzip der Reflektion von Ultraschallwellen an Grenzflächen zwischen Medien verschiedener Dichte. Als Ultraschall werden Schwingungen jenseits der menschlichen Hörschwelle, also oberhalb von 20.000 Hz bezeichnet. Der in der medizinischen Ultraschall Diagnostik verwendete Frequenzbereich liegt zwischen 1-7 Millionen Hz.

Zur Erzeugung dieser hochfrequenten Schwingungen wird der sogenannte "reziproke piezoelektrische Effekt" an Quarz oder den heute verwendeten Verbindungen Bleizirkonattitanat oder Bariumtitanat genutzt. Ein Kristall dieses Materials ändert unter der Wirkung eines elektrischen Feldes seine Dicke, so daß er - in einem elektrischen Wechselfeld gelegen - im Rhythmus der elektrischen Spannungsänderung schwingt und entsprechend frequente Wellen aussendet. Umgekehrt wird er durch auftreffende Ultraschallwellen verformt, wobei ein elektrischer Impuls entsteht, der in ein optisches Signal umgewandelt werden kann. Ein Kristall aus piezoelektrischem Material vermag somit gleichzeitig die Funktion eines Senders und Empfängers von Ultraschallwellen zu erfüllen.

Angeschlossen an einen Hochfrequenzgenerator sendet der in einem Schallkopf oder Transducer eingebaute Kristall intermittierend Ultraschall aus, fängt die reflektierten Schallwellen in den Impulsintervallen wieder auf und leitet sie über einen Verstärker einem Wiedergabegerät zu. Die heute verwendeten diagnostischen Ultraschallgeräte erzeugen zwischen 100 und 2000 Ultraschallimpulse/Sekunde, wobei die Impulsdauer 1-100 μ sec beträgt. Bei einer gebräuchlichen Impulsfolgefrequenz von 1000/sec und einer Impulsdauer von 1 μ sec besteht also ein Verhältnis zwischen Send- und Empfangszeit von 1:999. Diese kurze Impulsdauer in der diagnostischen Ultraschalltechnik läßt Auswirkungen auf das betroffene Gewebe, wie sie in der therapeutischen Anwendung von Ultraschall beobachtet werden, ausgeschlossen erscheinen. Schädliche Auswirkungen

diagnostischer Ultraschallverfahren ließen sich bisher nicht nachweisen (53, 112, 116, 174, 192, 206).

Die Ausbreitung von Ultraschallwellen geschieht geradlinig, dabei besitzen sie gegenüber dem hörbaren Schall den Vorteil einer besseren Richtbarkeit in Form eines gebündelten Strahls. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit in einem Objekt ist von dessen spezifischer Dichte abhängig, je dichter das Medium, desto höher ist die Laufgeschwindigkeit. Aus der spezifischen Dichte und der Laufgeschwindigkeit des Ultraschalls in einem bestimmten Material ergibt sich die physikalische Definition der "akustischen Impedanz", einer Größe, welche die Fortleitung des Ultraschalls in diesem Medium charakterisiert.

Trifft ein Ultraschallstrahl auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien verschiedener Impedanz, so wird er zum Teil reflektiert, zum Teil gebrochen. Der Anteil des reflektierten Schalls und damit die Stärke des Echosignals wird vom Auftreffwinkel des Schallstrahls und dem Unterschied in der akustischen Impedanz, dem "Impedanzsprung" zwischen den beiden Medien bestimmt. Aufgrund dieser physikalischen Besonderheiten lassen sich durch Ultraschall innere Oberflächen in festen und flüssigen Medien darstellen. Wegen des hohen Impedanzsprunges an den äußeren Begrenzungen gashaltiger Räume kommt es hier zu einer Totalreflektion des Schallstrahls. Dies macht Ultraschalldarstellungen in gashaltigen Organen oder durch diese hindurch - wie im Fall der Lunge - unmöglich.

Notwendig zur Erfassung einer Struktur durch Ultraschall ist, daß die Objektstärke mehr als $1/4$ der verwendeten Wellenlänge beträgt. Demnach können um so feinere Strukturen sichtbar gemacht werden, je kürzer die Wellenlänge bzw. je höher die Frequenz ist. Eine Frequenzerhöhung bringt jedoch den Nachteil einer geringeren Eindringtiefe mit sich, da der Schallstrahl - an vielen kleinen Grenzflächen reflektiert und gebrochen -

rasch an Intensität verliert. So erweist sich bei der Wahl der Wellenlänge bzw. der Frequenz ein Kompromiß zwischen der benötigten Darstellungstiefe und dem Auflösungsvermögen als notwendig. Die meisten derzeit verwendeten Echokardiographiegeräte vermögen bei Ultraschallfrequenzen von über 2 Millionen Hz eine Grenzflächendistanz von etwa 1-1,5 mm darzustellen, bei entsprechend günstigen Bedingungen sind dabei Darstellungen bis in mehr als 15 cm Tiefe möglich.

Trotz der o.a. Eigenschaft des Ultraschalls, sich als Strahlbündeln zu lassen, divergieren die Ultraschallwellen jenseits eines bestimmten, als "Nahfeld" bezeichneten Bereiches vom Schallkopf. Dies verursacht wegen der Verminderung der senkrecht reflektierten Echos eine schlechtere Darstellung der im "Fernfeld" liegenden entfernteren Strukturen. Durch Vergrößerung des Kristalldurchmessers und Verkürzung der Wellenlänge läßt sich das Nahfeld ausdehnen. Beiden Möglichkeiten der Darstellungsverbesserung sind jedoch Grenzen gesetzt, da bei zu großem Schallkopfdurchmesser ein ausreichender Kontakt der Auflagefläche mit der Thoraxwand nicht gewährleistet ist und eine Verkürzung der Wellenlänge mit einer verminderten Eindringtiefe erkauft wird. Eine weitere Verbesserung der Darstellungsqualität im Fernfeld läßt sich durch eine heute in den meisten Transducern eingebaute Fokussierung des Schallbündels erreichen.

Bei der Darstellung von Ultraschallsignalen wird die Laufzeit der Schallwelle zwischen ihrer Abgabe und dem Eintreffen ihres "Echos" von einer Grenzfläche in eine entsprechende Entfernung auf dem Wiedergabegerät umgesetzt. Die Angabe von Objektdistanzen und Abmessungen setzt eine konstante Ausbreitungsgeschwindigkeit in den durchlaufenen Medien voraus, dies ist für menschliches Weichteilgewebe und Blut mit einer Laufgeschwindigkeit von etwa 1550 m/sec weitgehend der Fall.

Die einfachste Art der Wiedergabe von Ultraschallsignalen ist die mittels eines Kathodenstrahloszillographen. Entsprechend der Lauf-

zeit des Schalls verändert sich die Distanz zwischen dem Nullpunkt der Entfernungsskala, welcher der Schallkopfoberfläche entspricht, und der Strahlauslenkung durch die Objektoberfläche. Bei Eichung entsprechend der akustischen Impedanz des durchschallten Gewebes werden genaue Angaben über die Entfernung zwischen Schallkopf und den Oberflächen von Strukturen sowie zwischen letzteren möglich. Da die Amplitude der Strahlauslenkung von der aufgefangenen Impulsintensität bestimmt wird, bezeichnet man diese Darstellungsform als Amplitudenmoduliertes oder A-Bild.

Wandelt man die Echosignale entsprechend ihrer Intensität in Lichtpunkte unterschiedlicher Helligkeit um und führt den Schallstrahl in Form eines Schnittes durch ein Objekt, so entsteht ein dem röntgenologischen Tomogramm ähnliches zweidimensionales Schnittbild. Wegen der Darstellung durch Modulation der Helligkeit ("brightness") wird dieses Verfahren als B-Bild-Verfahren bezeichnet. Diese Wiedergabetechnik eignet sich für Objekte ohne bzw. mit allenfalls sehr langsamen Bewegungen.

Für die Abbildung sich rasch bewegendere Organe wie des Herzens ist es dagegen notwendig, die Veränderungen des Organs in Abhängigkeit von der Zeit darzustellen. Dies geschieht durch Aufzeichnung von Echosignalen entlang eines einzelnen Schallstrahls nach der B-Bild-Methode, wobei auf dem Bildschirm eine seitliche Ablenkung der dargestellten Strukturen mit konstanter Geschwindigkeit erfolgt. Es entsteht dadurch ein Kurvenzug, welcher die Lageänderung der Strukturen und damit ihre Bewegungen im Schallstrahl wiedergibt. Dieses "time-motion-" oder M-Verfahren stellt die derzeit in der Kardiologie am meisten verbreitete Darstellungstechnik dar.

Eine während der letzten Jahre zunehmend entwickelte Ultraschalltechnik für die kardiologische Anwendung ist die "Scan-Technik". Hierbei wird, wie für das B-Bild-Verfahren beschrieben, ein Schnittbild des Herzens aufgezeichnet. Dies geschieht entweder durch schnelle Kippbewegungen eines Transducers oder Ansteuerung zahlreicher, in Form eines Kreisabschnittes angeordneter Kristalle, so daß ein

Winkelausschnitt oder Sektor durch den Schallstrahl abgetastet wird (Sektor-Scan). Die andere grundsätzliche Möglichkeit des Bildaufbaues ist die durch mehrere Kristalle mit paralleler Schallrichtung und gleichzeitiger Schallaussendung (Multi-Scan). Die geringe Fläche des am Herzen zur Verfügung stehenden Eintrittsfensters für Ultraschall schränkt die Anwendung der letztgenannten Darstellungstechnik jedoch wesentlich ein, so daß zur Zeit das Sektor-Scan-Verfahren in Verbindung mit der time-motion-Echokardiographie bevorzugt Anwendung findet.

II. UNTERSUCHUNGSGUT UND METHODIK

1. Untersuchungsgut

Insgesamt wurden die Untersuchungsergebnisse von 435 Personen (290 männliche, 145 weibliche) im Alter von 10-30 Jahren ausgewertet. Es handelte sich um 103 männliche und 77 weibliche Normalpersonen sowie 187 männliche und 68 weibliche Sportler. Unter den Normalpersonen finden sich je 54 männliche und weibliche Kinder und Jugendliche im Alter von 10-17 Jahren. Zu den Sportlern zählen 40 Jungen und 26 Mädchen zwischen 10 und 17 Jahren, die ein regelmäßiges Ausdauertraining betreiben. Zu den 111 erwachsenen männlichen Hochleistungssportlern zählen 27 Mittel-Langstreckenläufer, 24 Straßenradrennfahrer, 21 Rennruderer, 20 Gewichtheber sowie 19 Hammer-, Diskus-, Speerwerfer und Kugelstoßer. Die 37 Hochleistungssportlerinnen setzen sich aus 13 Mittel-Langstreckenläuferinnen, 9 Ruderinnen sowie 15 Diskus-, Speerwerferinnen und Kugelstoßerinnen zusammen. Hinzu kommen 5 weibliche und 29 männliche Mittelstreckenläufer sowie 7 Sportler verschiedener Disziplinen, bei denen unter Belastung bzw. während einer Einschwemmkatheteruntersuchung Echokardiogramme gewonnen wurden (Tab. 1).

Aufgrund der Anamnese, der klinischen Untersuchung sowie des EKG in Ruhe und unter Belastung, des Röntgenbefundes der Thoraxorgane, des Echokardiogrammes und der Laborbefunde bestand in keinem Fall ein Anhalt für eine Erkrankung.

2. Untersuchungsmethoden

2.1. Echokardiographie

Die echokardiographischen Untersuchungen wurden nach dem time-motion-Verfahren durchgeführt, dazu wurde das Gerät "Ekoline" (Fa. Smith & Kline) in Verbindung mit einem 2,25 MHz-Transducer mit 13 mm Oberflächendurchmesser und einer Fokussierung bei ca. 12 cm verwendet.

		männliche Probanden (n = 290)	weibliche Probanden (n = 145)
JUGENDLICHE	Normal- personen	54	54
	Ausdauer- trainierte	40	26
ERWACHSENE	Normal- personen	49	23
	Langstr.- läufer	27	13
	Radrenn- fahrer	24	
	Ruderer	21	9
	Gewicht- heber	20	
	Werfer- Stoßer	19	15
	Ergom.- Belastg.	29	5
	Einschw.- Katheter	7	

Tab. 1:

Aufschlüsselung des Untersuchungsgutes von 435 Personen; das Alter der Jugendlichen betrug 10-17, das der Erwachsenen 18-30 Jahre (nähere Angaben zum Alter und zu anthropometrischen Daten des Untersuchungsgutes Anh. Tab. I - IV).