

2.2. Technik

Norman J. Holter stellte im Jahre 1961 das erste EKG-Gerät vor, das der Erfassung der Herzaktivität über zehn Stunden diene (Holter 1961). Bis zum heutigen Zeitpunkt wurden die Geräte sehr weiter entwickelt. Mittlerweile stehen verschiedene Systeme zur Langzeit-EKG-Erfassung zur Verfügung. Sie wurden nicht nur in Bezug auf Größe und Gewicht verbessert, sondern auch auf ihre Leistungsfähigkeit und Speicherkapazität, wie Registrierzeit und Anzahl der Ableitungen, die erfasst werden können. Im Wesentlichen teilen sich die Langzeit-EKG-Erfassungsgeräte aufgrund ihrer Aufzeichnungstechnik in zwei verschiedene Systeme auf. Zum einen ist dies das kontinuierliche Erfassungssystem und zum anderen das diskontinuierliche System.

2.2.1. Erfassungssysteme

2.2.1.1. Das diskontinuierliche Langzeit-EKG Erfassungssystem - "Event-Recording"

Hierbei handelt es sich um ein sehr kleines und leichtes Gerät, das meist nicht mehr als 100 g wiegt. Es besteht aus zwei Elektroden, die an der Brustwand in einer Herzspitzen-Herzbasis-Position angebracht werden, und einem kleinen Speicherchip. Dieses, von J. G. Davis entwickelte Gerät speichert bei Aktivierung nachträglich, durch eine Speicherschleife, einen gewissen Zeitraum vor und nach der Betätigung (Brown et al. 1987). Die Aktivierung erfolgt durch den Patienten selbst oder seinen Betreuer, daher auch der Begriff "Event-Recording", das heißt, es werden nur EKG-Sequenzen aufgezeichnet, wenn das Gerät aktiviert wird. Aufgrund der Größe und des niedrigen Gewichts können diese Geräte auch bei Katzen und kleinen Hunden Anwendung finden, da sie besser toleriert werden (Goodwin 1998). Das Gerät kann mehrere Tage, sogar bis zu einer Woche getragen werden, was die diagnostische Spannweite deutlich erweitert. Ein Nachteil jedoch ist, dass Arrhythmien, die nicht mit einer bemerkbaren Symptomatik einhergehen, vom Patienten oder dem Betreuer bzw. Patientenbesitzer nicht erkannt werden und somit das Gerät nicht aktiviert wird und dann auch keine Speicherung erfolgt (Goodwin 1998). Nach mehreren aufgezeichneten Ereignissen wird das Gerät an eine entsprechende Datenempfangsstation angeschlossen und die EKG-Sequenzen übertragen, wo sie dann analysiert und ausgedruckt werden können (Goodwin 1998).

Eine weitere Methode der diskontinuierlichen EKG-Erfassung ist das sogenannte Stichproben-Speichersystem. Hierbei werden mit einem ähnlichen Gerät ebenfalls EKG-Sequenzen gespeichert. Die Speicherung erfolgt jedoch zufällig und unspezifisch, sozusagen

in Stichproben. Neuere Modelle können durch ein sogenanntes Arrhythmie-Modul Herzrhythmusstörungen erkennen und diese dann aufzeichnen (Bethge und Gonska 1988). Diese Methoden erwiesen sich allerdings nicht effizient genug und sollten daher nicht mehr angewendet werden (Höpp und Osterspey 1984; Hertel et al. 1996).

2.2.1.2. Das kontinuierliche EKG-Erfassungssystem (Holter-Monitoring)

Das Prinzip des kontinuierlichen Erfassungssystems besteht darin, dass die EKG-Erfassung und -Speicherung durchgehend, meist über einen Zeitraum von 24 Stunden, erfolgt. Dazu werden Rekorder mit speziellen Speichermedien benötigt, die ausreichend Speicherkapazität besitzen, um über den gesamten Zeitraum der Registrierung eine bis drei EKG-Ableitungen der Brustwände zu speichern. Diese Rekorder werden in einer Tasche mit einem speziellen Tragegeschirr am Patienten getragen. Diese Rekorder sind etwas schwerer (meist über 300g) und größer als die der diskontinuierlichen Erfassungssysteme. Aufgrund ihrer Größe und des Gewichts sind diese Geräte meist für Katzen oder kleine Hunderassen unter zehn Kilogramm weniger geeignet, da die Anbringung am Tier und auch das zu tragende Gewicht oftmals nicht toleriert wird (Hertel et al. 1998).

2.2.2. Speichermedien und Datentransfer

Nachdem die elektrischen Herzpotentiale abgeleitet und auf den diversen Rekordern gespeichert wurden, können die Daten auf ein entsprechendes Analysesystem übertragen werden. In den Anfängen der Langzeit-Elektrokardiographie waren die Analyse und auch die Datenübertragung auf die entsprechenden Analysegeräte mit einem enormen Arbeits- und Zeitaufwand behaftet. Auch hier haben sich die Verfahren durch den technischen Fortschritt stark weiterentwickelt. Bereits in den siebziger Jahren wurden die ersten Computer eingesetzt, die der leichteren Arrhythmieanalyse dienen.

2.2.2.1. Magnetband-Rekorder

Bei diesen älteren Rekorder-Modellen erfolgt die Speicherung der EKG-Signale analog auf Magnetbändern. Für eine 24-stündige EKG-Aufzeichnung von zwei Ableitungen können handelsübliche Audiokassetten verwendet werden. Die Bänder werden von einem Analysesystem eingelesen. Anfangs entsprach die Dauer des Datentransfers von Magnetband-Rekordern auf ein entsprechendes Analysesystem der Registrierzeit des erfassten EKG und gleichzeitig musste das EKG durch eine Person auf dem Bildschirm kontrolliert werden (Kalkreuth 1992).

2.2.2.2. Mikrochip-Rekorder

Mit dem Einzug der Computertechnologie in Langzeit-Elektrokardiographie konnten weitere nützliche Verbesserungen entwickelt werden. Die neuen EKG-Rekorder-Modelle verfügen über einen Mikrochip als Speichermedium. Die Speicherung der EKG-Ableitungen erfolgt digital auf diesen Chips, nachdem sie durch einen sogenannten A/D-Wandler (Analog-/Digital-Wandler) von ihrer analogen Form in eine computergerechte, digitale Form umgewandelt wurden. Die Übertragungszeiten der Daten auf ein entsprechendes Analysesystem (Computer) konnten deutlich reduziert werden.

2.2.3. Analysemethoden

Die Analyse eines Langzeit-EKG erfordert einen großen Zeit- und Arbeitsaufwand, da jeder einzelne Herzzyklus untersucht werden muss. Bei einem 24-Stunden-EKG in kontinuierlicher Aufzeichnung, abhängig von der Herzfrequenz, bedeutet dies über 100000 Herzaktionen. Ein Standard-EKG enthält im Vergleich nur 20 bis 100 Herzaktionen (Bethge und Gonska 1988; Witte und Dänschel 1990). Diese mussten früher einzeln Stück für Stück, nachdem das gesamte Langzeit-EKG ausgedruckt wurde, visuell begutachtet werden. Holter entwickelte eine Methode, die es ermöglichte, eine zeitgeraffte EKG-Analyse durchzuführen. Dieses Verfahren wird *audiovisuelle EKG-Analyse* genannt (Osterhues 1992). Bei dieser Technik werden die einzelnen QRS-Komplexe auf dem Bildschirm bzw. Oszilloskop in 60- oder 120-facher Geschwindigkeit übereinander projiziert. Somit können vorzeitige und von der Form abweichende Komplexe leichter erkannt werden. Weiterhin wird jeder QRS-Komplex durch ein Signalton hervorgehoben. Dadurch können Abweichungen der Herzschlagfrequenz und Extrasystolen zusätzlich durch ein akustisches Signal wahrgenommen werden (Fitscha et al. 1981). Die diagnostische Sicherheit bei dieser Methode ist stark von der Routine und Aufmerksamkeit der auswertenden Person abhängig. Auch hier gab es immer weiter Fortschritte in der Analysetechnik. Mit Hilfe von sogenannten *Auswertecomputern* gestaltete sich die EKG-Analyse beim Menschen deutlich praktikabler und effektiver (Bethge und Gonska 1985). Bei älteren Systemen lag der Schwerpunkt der Arrhythmiediagnose auf den QRS-Komplexen, da diese am markantesten und am einfachsten erkennbar sind. Neuere Systeme sind fähig, auch andere EKG-Segmente zu erkennen. Das Prinzip der computergesteuerten Arrhythmieanalyse bei den älteren Modellen besteht darin, dass der Computer normale QRS-Komplexe von abnormal konfigurierten QRS-Komplexen, anhand von verschiedenen Kriterien differenziert (Kalkreuth 1992). Diese Kriterien können zum Beispiel die Breite, Amplitude und der Vektor der Kammerkomplexe oder die QRS-

Symmetrie sein. Weitere Kriterien sind die Anstiegssteilheit des Kammerkomplexes, QRS-Fläche, Flächenschwerpunkt oder Flächenkontur. Mehrere dieser Einzelkriterien werden vom Computer für die einzelnen QRS-Komplexe kalkuliert und einem Algorithmus zugeordnet. Der Computer nimmt den Algorithmus eines QRS-Komplexes, der als normal definiert wird als Vergleichsbasis und vergleicht ihn mit allen anderen Algorithmen. Je nach Grad der Abweichung der einzelnen anderen Algorithmen vom Vergleichsalgorithmus kann der Computer zwischen normal und abnormal konfigurierten QRS-Komplexen differenzieren. Bei den neueren Modellen werden zusätzlich auch P-Wellen, PQ-Strecken und T-Wellen in das Differenzierungssystem einbezogen. Dies erfordert eine weitgehend artefaktfreie EKG-Registrierung, da die P- und T-Wellen meist sehr niedrig sind und eine verlässliche Zuordnung nicht gesichert ist. Deshalb ist es nach wie vor notwendig, die Analyseergebnisse und das gesamte EKG in einer Totalausschrift (im Englischen: full disclosure) nochmals durch einen Untersucher einer visuellen Kontrolle zu unterziehen. Dies wird in der Humanmedizin nach geltenden Qualitätsrichtlinien sogar vorgeschrieben. (Bethge und Gonska 1988; Bethge und Gonska 1985; Kühn 1988; Distler 1989; Assmann und Kassel 1990).

Die Analysensysteme wurden für das EKG des Menschen konzipiert. Vor allem in der Veterinärmedizin stoßen die Analysensysteme rasch an ihre Grenzen, da sie zum Beispiel schnellere Herzzyklen oftmals nicht von supraventrikulären Extrasystolen differenzieren können. Auch die beim Hund physiologische respiratorische Sinusarrhythmie stellt für die computergesteuerte Arrhythmieanalyse ein großes Problem dar (Hertel et al. 1996; Defrancesco 1995; Ware 1990). Die respiratorische Sinusarrhythmie tritt zwar auch beim Menschen auf, doch ihre Ausprägung ist nicht so stark wie beim Hund (Moise und Defrancesco 1995).

2.2.4. PC-EKG

Das PC- EKG stellt eine der neueren Errungenschaften in der Speicherelektrokardiographie dar. Die abgeleiteten elektrischen Herzaktionen werden über das EKG Erfassungskabel zum A/D-Wandler (Analog/ Digital-Wandler) geleitet und es erfolgt eine digitale Umwandlung der analogen, elektrischen Herzpotentiale. Von dort werden die Daten in den Computer eingespeist, welche durch eine Aufzeichnungs- und Analysesoftware verarbeitet und visuell auf dem Monitor dargestellt werden. So ist es möglich, die elektrischen Herzpotentiale ohne zeitliche Verzögerung auf dem Monitor in Form des Elektrokardiogramms zu verfolgen und auszuwerten, sowie diverse Sequenzen zu speichern.

Zur Zeit bieten mehrere Firmen verschiedene PC-EKG-Systeme an. Diese weisen geringfügige Unterschiede in Design, Funktion und Fähigkeiten auf. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ausschließlich mit dem "Bioport 2000" EKG-Erfassungsmodul und dem "Bioanimal" Datenmanagementsystem der Firma Hörmann, Medizinelektronik, gearbeitet, die weitere Erläuterung beschränkt sich auf dieses System.

Das "Bioport 2000" Erfassungsmodul besteht aus dem A/D-Wandler und den EKG-Ableitkabeln. Das "Bioanimal" Datenmanagementsystem ist eine Computersoftware, die es ermöglicht, die abgeleiteten EKG-Signale visuell auf dem Monitor darzustellen, auszumessen und zu speichern. Diese Software verfügt über verschiedene EKG-Aufzeichnungsmodi.

Beim Ruhe-EKG-Modus werden zwischen drei und sechs Ableitungen gleichzeitig (Einthoven und Goldberger) dargestellt und beliebige Sequenzen können in Form von sogenannten 10s- Sequenzen (zehn Sekunden) abgespeichert werden. Im Rhythmus-EKG-Modus werden drei Ableitungen (Einthoven oder Goldberger) und zugleich noch ein Rhythmusstreifen in der zweiten Ableitung nach Einthoven auf dem Monitor dargestellt. In diesem Modus ist es möglich, eine etwa sechs Minuten lange EKG-Sequenz abzuspeichern.

In beiden Modi ist es möglich, die gespeicherten Sequenzen nachträglich in bis zu zehn Ableitungen einzusehen, manuell auszumessen und auszudrucken.