

Definition des EKG

Die Elektrokardiographie ermöglicht das Registrieren, Messen und Analysieren elektrischer Potenziale, die über genau definierten Ableitungselektroden am Körper gewonnen werden. Die elektrischen Potenziale entstehen durch die elektrische Aktivität der Zellen des Herzens und werden bis zur Körperoberfläche weitergeleitet.

Die Auswertung der Kurve ermöglicht diagnostische Aussagen über Funktion und Zustand des Reizleitungssystems und des Herzmuskels.

EKG-Untersuchungsmethoden und Einsatzgebiete:

Ruhe-EKG

Das Ruhe-EKG ist wohl die am häufigsten eingesetzte EKG-Untersuchung und wird als 12-Kanal-EKG geschrieben. Das 12-Kanal-EKG ist Teil von routinemäßigen Untersuchungen vor allem bei Patienten über 40 Jahre oder auch bei Jüngeren bei bestehendem Verdacht auf kardiale Erkrankungen. Das 12-Kanal-EKG ermöglicht die Beurteilung des Zustandes des Herzmuskels und des Reizleitungssystems und gibt Hinweise auf bestehende Erkrankungen, die dann durch weitere Diagnostik untersucht werden können. Beim Herzinfarkt kann das betroffene Gebiet durch Auswertung der Ableitungen gut eingeschätzt werden.

Belastungs-EKG

Beim Belastungs-EKG wird das EKG abgeleitet, während der Patient genau dosiert belastet wird. Dabei kann es bei Koronarinsuffizienz zu EKG-Veränderungen kommen, die z.T. im Ruhe-EKG nicht nachweisbar sind. Das Auftreten von Herzrhythmusstörungen kann ebenfalls eine Folge der Belastung sein.

Langzeit-EKG

Bei Patienten mit Verdacht auf Herzrhythmusstörungen wird das Langzeit-EKG eingesetzt. Damit kann man den Herzrhythmus über mindestens 24 Stunden oder auch länger beobachten. Die Geräte sind in Folge der Miniaturisierung kaum größer als eine AA-Batterie. Die heutigen Geräte ermöglichen eine elektronische Auswertung.

Standardableitungen 12- Kanal-EKG

Die Ableitungen des EKG registrieren den Verlauf der Erregungswelle und die daraus resultierenden Potenziale von verschiedener Perspektive. Die einzelnen Ableitungen erlauben eine Beurteilung von den in Richtung der Ableitung liegenden Herzabschnitten. Durch die im Standard-EKG übliche Anordnung entsteht somit eine Gesamtübersicht über den Zustand des Reizleitungssystems und des Herzmuskels, wobei die Extremitätenableitungen in der vertikalen Ebene und die Brustwandableitungen in der horizontalen Ebene angeordnet sind. Erst durch die genau festgelegte Lokalisation der Ableitungen wurde es möglich, EKG-Untersuchungen verschiedener Patienten oder zu unterschiedlicher Zeit geschriebene Streifen zu vergleichen und auszuwerten.

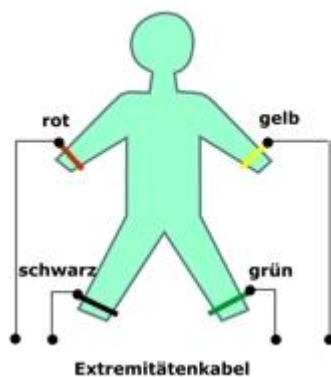
Im Gegensatz dazu dienen die später beschriebenen Ableitungen zur Patientenüberwachung im Wesentlichen nur zur Kontrolle und Überwachung von Herzfrequenz und Herzrhythmus. Deshalb gibt es dort zwar empfohlene Elektrodenpositionen, aber keine Standardableitungen.

EKG Standard- Ableitungen

Die heute gebräuchlichen Ableitungen werden in unipolare und bipolare Ableitungen eingeteilt. Unipolare Ableitungen erfassen das Potenzial über eine empfindliche Elektrode, bipolare Ableitungen über zwei empfindliche Elektroden, wobei die Potentialdifferenz zweier Elektroden ermittelt wird.

Für ein vollständiges 12-Kanal-EKG werden zwölf Ableitungen aufgezeichnet: Die drei bipolaren Extremitätenableitungen nach Einthoven und die drei unipolaren Extremitätenableitungen nach Goldberger werden durch spezielle Schaltung dreier Extremitätenkabel generiert, die sechs unipolaren Brustwandableitungen nach Wilson durch die Brustwandkabel und der Schaltung dreier Extremitätenkabel.

Das schwarze Extremitätenkabel am rechten Fuß wird aus technischen Gründen zur Generierung aller Ableitungen gebraucht.



Anschluss der Kabel:

Das Patientenkabel unterteilt sich in 4 Extremitätenkabel, die an den meisten Geräten länger sind, und 6 Brustwandkabel.

Extremitätenkabel: körperfern an den Extremitäten

rot rechter Arm gelb linker Arm
schwarz rechtes Bein grün linkes Bein

Die Position der Brustwandelektroden (ICR = Intercostalraum)

V1: in den 4.ICR rechts neben dem Brustbein

V2: in den 4.ICR links neben dem Brustbein

V3: zwischen V2 und V4

V4: in den Schnittpunkt des 5.ICR und der Medioclavicularlinie links

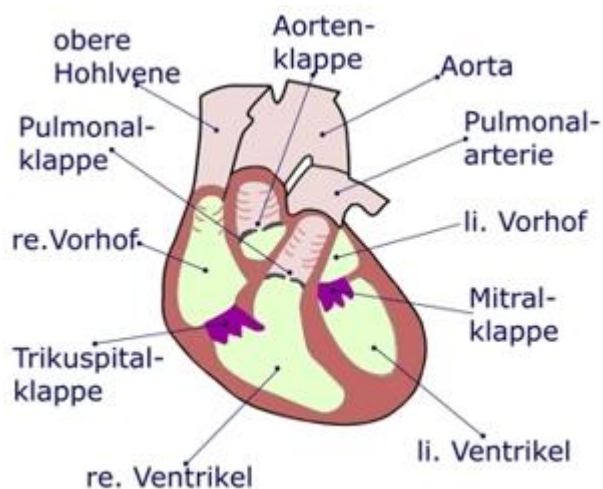
V5: vordere Axillarlinie, gleiche Höhe wie V4

V6: mittlere Axillarlinie, gleiche Höhe wie V4

Überlagerte Wechselstromkurven sind Störungen durch elektrische Felder außerhalb des Menschen. Es hilft häufig, den Netzstecker des Patientenbettes oder naher Geräte zu ziehen, um eine einwandfreie EKG-Ableitung zu erhalten, evtl. auch eine andere Steckdose benutzen.

Fehlt einem Patienten ein Bein oder ein Arm, dann bringt man die Elektroden auf der gleichen Höhe am Körper an.

Anatomie des Herzens



Aufbau des Herzens:

Das Herz ist ein Hohlmuskel und ist in vier Kammern unterteilt. Es besteht aus rechtem Vorhof, rechter Kammer, linkem Vorhof und linker Kammer. Vorhöfe und Kammern sind jeweils durch Vorhof- und Kammerseptum getrennt. Zwischen Vorhöfen und Kammern liegen in einer Ebene die Herzklappen, dies wird als Ventilebene bezeichnet. Die Ventilebene besteht aus Bindegewebe und wird auch Herzskelett genannt, weil sie den Klappen Halt gibt. Das Bindegewebe trennt Vorhöfe und Kammern elektrisch voneinander, was physiologisch von großer Bedeutung ist.

Blutfluss und Herzklappen:

Das Blut gelangt über die obere und untere Hohlvene in den rechten Vorhof, strömt durch die Trikuspidalklappe in die rechte Kammer, wird von dort durch die Pulmonalklappe in die Lungenarterie gepumpt. In der Lunge wird das Blut mit Sauerstoff angereichert und Kohlendioxid eliminiert. Das Blut fließt dann über 4 Lungenvenen in den linken Vorhof. Durch die Mitralklappe gelangt es in die linke Herzkammer, um dann durch die Aortenklappe in die Aorta gepumpt zu werden. Die Herzklappen geben dem Blut die Richtung und wirken als Rückschlagventile. Pulmonalklappe und Aortenklappe sind Taschenklappen, Trikuspidalklappe und Mitralklappe sind Segelklappen, die durch die Papillarmuskeln gesteuert werden.

Die Muskulatur des rechten Herzens ist nur wenige Millimeter dick, da es weniger Kraft braucht, das Blut durch die Lunge zu pumpen. Der linke Ventrikel muß das Blut in die Aorta und die Arte-

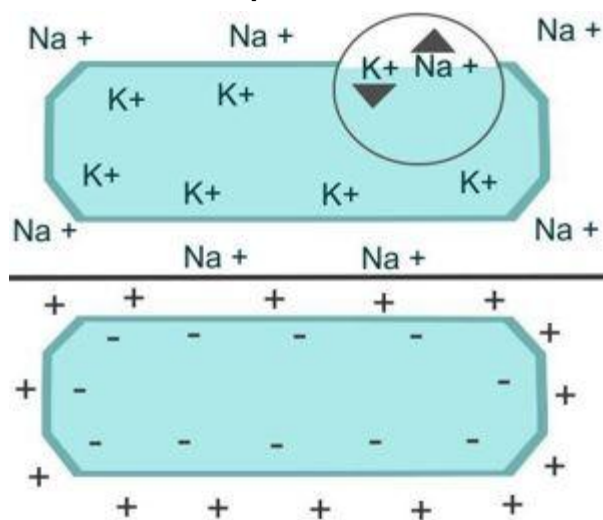
rien des ganzen Körpers pumpen und braucht dazu mehr Muskelmasse, die hier bis zu einem Zentimeter dick ist.

Das Herz ist aus drei Schichten aufgebaut: Das Endokard kleidet das Herz innen aus, das Myokard bildet die Arbeitsmuskulatur, das Epikard ist eine umgebende Bindegewebsschicht. Das Herz ist zudem in den Herzbeutel, das Perikard eingebettet.

Vorgänge an der Muskelzelle

Entstehung des Aktionspotenzials

Zur Erklärung der Entstehung von Aktionspotenzialen wird hier ein vereinfachtes Modell benutzt. Die Vorgänge an der Zellmembran durchlaufen die Phasen des **Ruhepotenzials**, der **Depolarisation** und der **Repolarisation**.



Ruhepotenzial

Zellen sind von Membranen umgeben, bei Muskel- und Nervenzellen stellte man fest, dass an den Zellmembranen eine geringe elektrische Spannung von etwa -90 mV anliegt. Diese kommt dadurch zustande, dass Ionen genannt unterschiedlich im intra- und extrazellulären Raum verteilt sind. Die Teilchen werden aktiv gegen ein Konzentrationsgefälle durch die Zellmembran transportiert, der Transportmechanismus wird Natrium-Kaliumpumpe genannt. Natrium-Ionen sind in der Phase des Ruhepotenzials extrazellulär konzentriert und Kalium -Ionen intrazellulär. Die Zellmembran ist in der Lage, die Durchlässigkeit für Teilchen zu verändern, in der Phase des Ruhepotenzials ist die Zellmembran an den normalen Herzzellen jedoch weitgehend undurchlässig. Die Außenwand der Zellen ist im Ruhezustand positiv, das Zellinnere negativ.

Zwei in gleicher Richtung wirkende Kräfte beeinflussen die am Ruhepotenzial beteiligten Ionen:

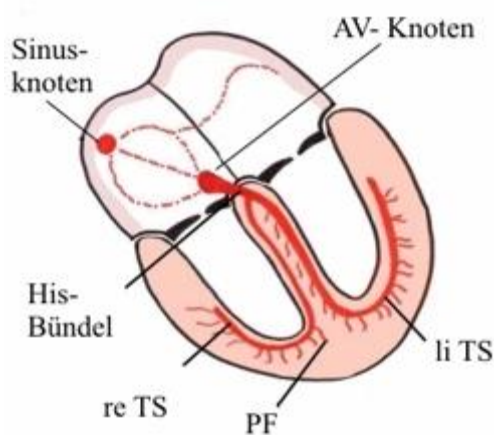
- Die Ionen haben intra- und extrazellulär eine stark unterschiedliche Konzentration und sind bestrebt, diese auszugleichen. (Diffusion an einer semipermeablen Membran = Osmose)
- Die Teilchen haben unterschiedliche elektrische Ladung und ziehen sich daher an (elektrische Anziehungskraft)

Die Zelle steht in der Phase des Ruhepotentials unter Spannung und ist in der Lage, sich zu entladen.

Physiologische Grundlagen

Das Reizleitungssystem

An den Muskelzellen des Herzens ist ein elektrisches Potenzial an der Zellmembran nachweisbar, sie sind daher in der Lage, sich zu entladen. Durch die elektrische Entladung wird die Kontraktion der Muskelzellen eingeleitet. Die Entladung beginnt im Sinusknoten, einem kleinen Zellverband an der Sinusknotenarterie im oberen rechten Vorhof, und wandert zunächst über die Muskulatur des rechten Vorhofes, leicht verspätet auch über den linken Vorhof zum Atrioventrikularknoten (AV-Knoten).



Vorhöfe und Kammern sind entwicklungsgeschichtlich bedingt durch nicht leitendes Gewebe elektrisch voneinander getrennt, die Erregung kann daher nicht über die Herzwand, sondern nur über den AV-Knoten zu den Leitungsbahnen der Kammern gelangen. Dies ist von physiologischer Bedeutung, da die Leitung der Erregung im AV-Knoten verzögert wird. In dieser Zeit pumpen die kontrahierenden Vorhöfe das Blut in die Kammern, die sich dann zeitversetzt kontrahieren. Ein zusätzlicher Schutz bietet der AV-Knoten, wenn im Vorhof schnelle Rhythmusstörungen entstehen. Er hat nur eine bestimmte im Alter abnehmende Überleitungsgeschwindigkeit, dadurch werden nicht alle vom Vorhof kommenden Erregungen auf die Kammer übertragen.

Nach dem AV-Knoten läuft die Erregung über das His-Bündel zum linken und rechten Tawaraschenkel, wobei sich der linke nochmals in einen posterioren und anterioren Faszikel aufteilt. (ohne Abbildung) Nach den Tawaraschenkeln werden die Purkinje-Fasern erreicht, die die Erregung dann auf das Myokard übertragen. Nach der elektrischen Aktion wird die Kontraktion der Ventrikelmuskulatur ausgelöst. Im Myokard breitet sich die Erregung von innen nach außen und von der Spitze zur Basis aus.

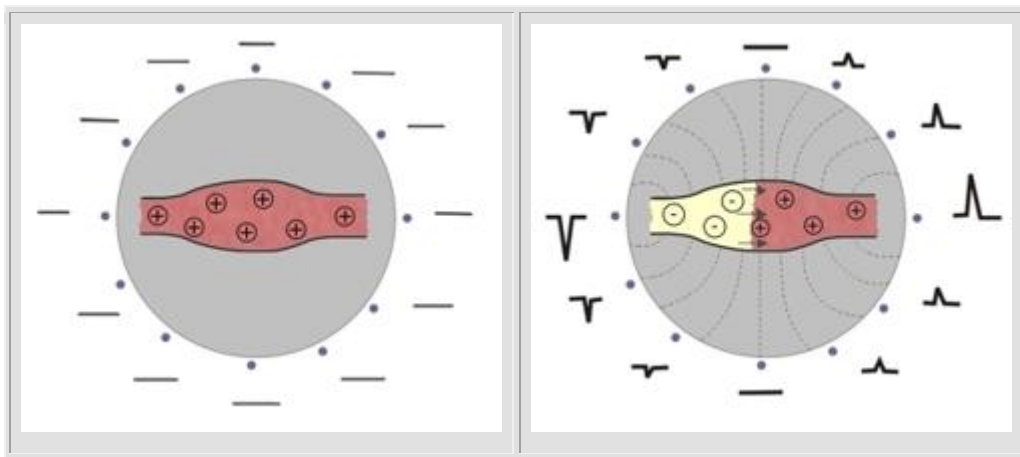
Der AV-Knoten verzögert die Reizleitung und sorgt für die Synchronisation zwischen Vorhöfen und Kammern. Durch die begrenzte Überleitungsgeschwindigkeit wird die Kammer vor schnellen Rhythmen aus den Vorhöfen geschützt.

Erregungsvorgang an einem Muskel

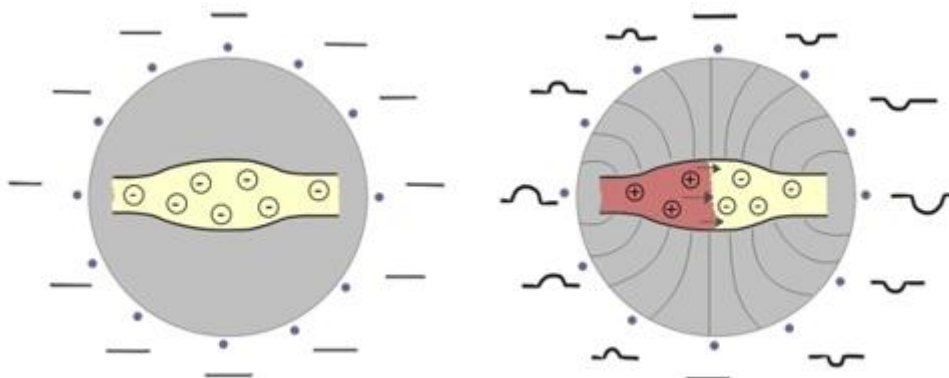
An den Zellmembranen von Herzmuskelzellen sind elektrische Potenziale nachweisbar, die aufgrund der Depolarisation und Repolarisation zyklisch auftreten. Die Depolarisation setzt sich von Zelle zu Zelle fort und wandert über die Muskelfasern hinweg.

Modellversuch: Der Vorgang der Depolarisation und Repolarisation wird zunächst vereinfacht und an einem Muskelstrang, der mit ableitenden Elektroden umgeben ist, untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse werden dann später auf das Herz übertragen.

Die Muskelzellen befinden sich im Ruhepotenzial und haben extrazellulär eine positive Ladung. In der Umgebung ist kein elektrisches Feld messbar. Der Muskelstrang wird von links nach rechts depolarisiert. Es entsteht ein elektrischer Dipol, von dem ein elektrisches Feld ausgeht. Die Elektroden zeigen das Feld an. Je stärker das Feld, desto höher der Ausschlag.



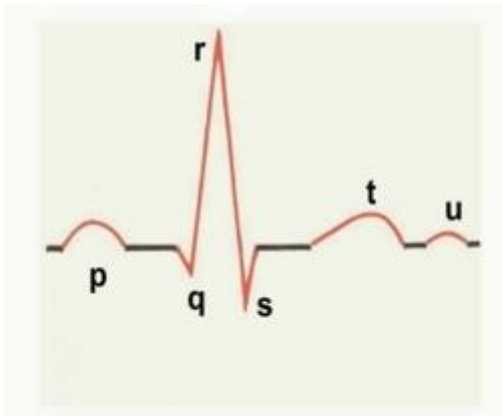
Die Erregungswelle hat alle Zellen des Muskelstranges erfasst, alle Zellen sind depolarisiert und haben extrazellulär negative Ladung. In der Umgebung ist kein elektrisches Feld messbar. Die erregten Zellen werden repolarisiert, der Erregungsrückgang ist langsamer und länger, erzeugt eine flache, lang gezogene Kurve und ist im Vergleich zur Depolarisation elektrisch entgegengesetzt.



Ein erregter Muskelbezirk verhält sich gegenüber einem unerregten Bezirk elektrisch negativ. Es entstehen zwei entgegengesetzte Pole (= Dipol), von denen ein elektrisches Feld ausgeht, das in

der Umgebung mit Elektroden registriert werden kann. Zwischen gleichmäßig erregten oder gleichmäßig unerregten Muskelbezirken ist kein Potenzialunterschied nachweisbar (kein Dipol => kein elektrisches Feld => kein Ausschlag im EKG).

Das normale EKG



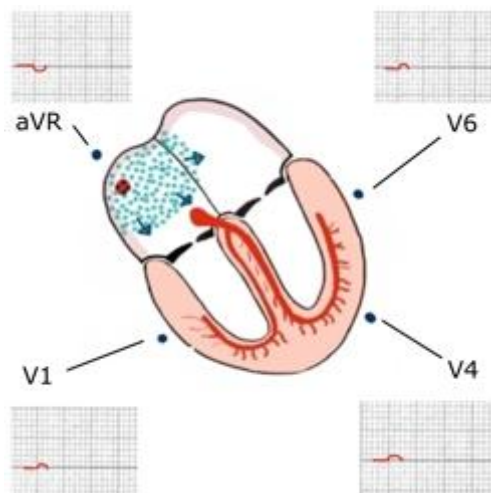
Der Kurvenverlauf des normalen EKG's zeigt charakteristische Zacken, die seit Einthoven mit den Buchstaben p, q, r, s, t und u benannt werden.

Das EKG setzt sich aus einem Vorhofanteil und einem Kammeranteil zusammen. Die Kammer verfügt über größere Muskelmasse und erzeugt daher höhere Ausschläge.

Die genaue Lokalisation der in diesem Kapitel verwendeten Ableitungen erfahren Sie unter Ableitungen.

Prinzipien der Reizaufzeichnung

- An der Körperoberfläche ist die Summe aller wirkenden Potenziale an den Ableitungselektroden messbar.
- Eine Erregung, die auf eine Ableitung zuläuft, ergibt eine positive Zacke (nach oben)
- Eine Erregung, die sich von einer Ableitung wegbewegt, ergibt eine negative Zacke

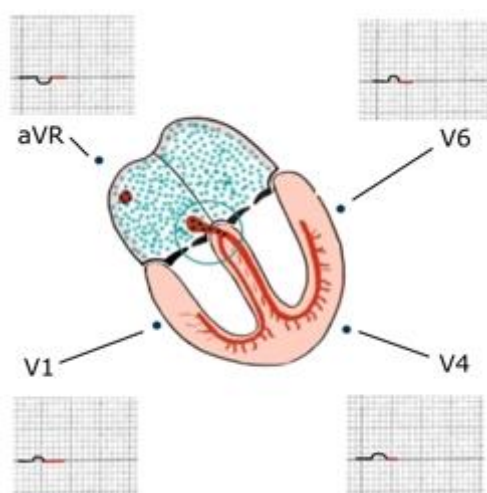


Die Kurve des **Elektrokardiogramms** (EKG) lässt sich in verschiedene Abschnitte einteilen, denen jeweils ganz bestimmte elektrophysiologische Vorgänge im Herzen zugrunde liegen.

- P-Welle: entsteht durch die Ausbreitung der Erregung in den Vorhöfen des Herzens.
- PQ-Strecke: isoelektrische, horizontal verlaufende Linie, die vom Ende der P-Welle bis zum Anfang des QRS-Komplexes reicht. Sie entspricht der Zeit vom Ende der Vorhoferregung bis zum Anfang der Kammererregung.
- PQ-Dauer: entspricht der gemeinsamen Dauer von P-Welle und PQ-Strecke.
- QRS-Komplex: scharf gezackter Komplex, der der Depolarisation beider Kammern entspricht.
- J-Punkt: Übergang von S-Zacke zu ST-Strecke
- ST-Strecke: isoelektrische Linie von Ende des QRS-Komplexes bis zum Anfang der T-Welle.
- T-Welle: entsteht durch die Erregungsrückbildung der Herzkammern.
- QT-Dauer: Sie schließt QRS-Komplex, ST-Strecke und T-Welle ein. Ihre Dauer entspricht der Kammerstole und ist abhängig von der Herzfrequenz.
- U-Welle: Eine inkonstant auftretende Erhebung nach der T-Welle.

P-Welle

Die Vorhoferregung geht vom Sinusknoten aus und breitet sich zuerst über den rechten, dann den linken Vorhof aus. Der erste aufsteigende Teil der Depolarisation entspricht der Depolarisation des rechten, der zweite absteigende Teil der Depolarisation des linken Vorhofes. Der Hauptvektor zeigt vom Sinusknoten zum AV-Knoten, daher ist P in allen Abl. dieser Richtung positiv. (V2-V6, I, II, aVL, aVF) Die verzögerte Depolarisation des linken Vorhofes zeigt von den Ableitungen V1 und III weg und erzeugt dort einen biphasischen Verlauf (+/-). Von AvR zeigt der P-Vektor weg und erzeugt eine negative P-Welle. Dauer von P: bis 0,10 sec



PQ - Zeit

Die P-Q-Zeit beginnt mit dem Beginn der P-Welle und endet bei Beginn des QRS-Komplexes. Die Erregung wird vom AV-Knoten gebremst und über das His-Bündel zu den Tawaraschenkeln übergeleitet, (daher Überleitungszeit) An diesem Vorgang sind nur wenige Zellen beteiligt, im

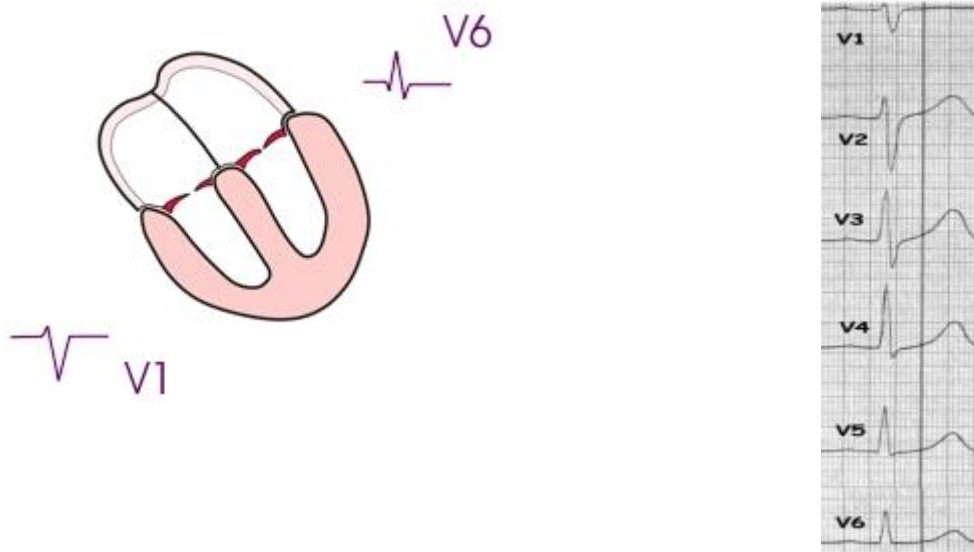
Oberflächen-EKG ist daher nichts sichtbar, es erscheint eine Isolektrische Linie. Die Überleitungszeit unterliegt zahlreichen Einflüssen wie Herzbelastung, Alter, Medikamenten.

Dauer: nicht mehr als 0,2 s

QRS- Komplex

Die Depolarisation der Kammer beginnt im Septum, das von links nach rechts erregt wird. In Ableitung V1 entsteht eine kleine R-Zacke, in Abl. V4 - V6 eine Q-Zacke.

Die Depolarisation setzt sich dann in die Herzspitze fort, wobei die linke Kammer durch ihren größeren Muskelanteil dominiert, die R- Zacken nehmen daher von V2 bis V4 zu und dann wieder ab. Dies wird auch R-Progression genannt.



ST- Strecke

Die ST-Strecke entsteht in der Phase, in der alle Zellen des Ventrikels depolarisiert sind. Normalerweise lässt sich kein Potenzial erfassen, es entsteht eine Nulllinie (kein Ausschlag im EKG).

T-Welle

Die normale T-Welle ist nicht symmetrisch, sondern steigt langsam an und fällt schneller ab, der Gipfel ist gerundet. Die T- Welle ist normal positiv, in der Ableitung aVR aber negativ

Die Auswertung des EKG kann händisch mit einem EKG-Lineal oder computergestützt erfolgen. Der Sinusrhythmus ist eine im Sinusknoten durch Depolarisation der Zellen entstehende Folge von Erregungen, die bei regulärer Reizfortleitung die Herzfrequenz bestimmt (Schrittmacherfunktion des Sinusknotens). Der Sinusrhythmus ist ausser bei der Sinusarrhythmie immer regelmäßig. Ein Sinusrhythmus ist an positiven P-Wellen in den Ableitungen I, II und III zu erkennen. Ist das Herz gesund, dann sieht man regelmäßige P-Wellen, denen schmale QRS-Komplexe folgen. Sind die P-Wellen in den genannten Ableitungen nicht positiv, so kann man davon ausgehen, dass die Impulse von einem ektopen supraventrikulären Focus ausgehen. Dies wäre dann kein Sinusrhythmus mehr.

Standardableitungen 12- Kanal-EKG

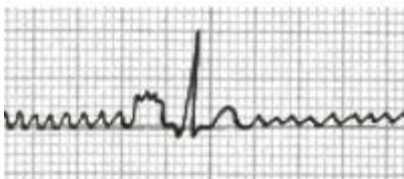
Die Ableitungen des EKG registrieren den Verlauf der Erregungswelle und die daraus resultierenden Potenziale von verschiedener Perspektive. Die einzelnen Ableitungen erlauben eine Beurteilung von den in Richtung der Ableitung liegenden Herzabschnitten. Durch die im Standard-EKG übliche Anordnung entsteht somit eine Gesamtübersicht über den Zustand des Reizleitungssystems und des Herzmuskels, wobei die Extremitätenableitungen in der vertikalen Ebene und die Brustwandableitungen in der horizontalen Ebene angeordnet sind. Erst durch die genau festgelegte Lokalisation der Ableitungen wurde es möglich, EKG-Untersuchungen verschiedener Patienten oder zu unterschiedlicher Zeit geschriebene Streifen zu vergleichen und auszuwerten.

Im Gegensatz dazu dienen die später beschriebenen Ableitungen zur Patientenüberwachung im Wesentlichen nur zur Kontrolle und Überwachung von Herzfrequenz und Herzrhythmus. Deshalb gibt es dort zwar empfohlene Elektrodenpositionen, aber keine Standardableitungen.

Störungen im EKG

Artefakte können manchmal schwer von echten Veränderungen unterschieden werden und führen dann zur Fehlinterpretation. Aus diesem Grunde sollte auch das Verpolen der Ableitungen unbedingt vermieden werden.

Wechselstrom



Die Stromversorgung von in der Nähe stehenden Geräten kann im EKG zu typischen Störungen führen, die leicht zu erkennen sind. Wechselstrom wird 50 mal pro Sekunde umgepolt (50 Hertz), die im EKG sichtbaren Störungen haben also eine Frequenz von 50 / sec. Bei einer Ableitungsgeschwindigkeit von 50 mm/sec ist das eine Störung pro Millimeter. Die einfachste Maßnahme, die häufig zum Erfolg führt, besteht im Ziehen des Steckers bei elektrischen Betten. Treten in einem bestimmten Raum Wechselstromeinflüsse öfters auf, dann setzen sie sich mit ihrer Haus-technik in Verbindung.

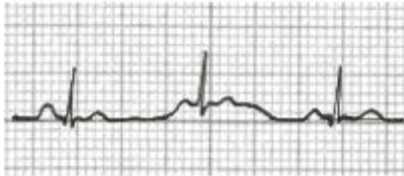
Muskuläre Einflüsse



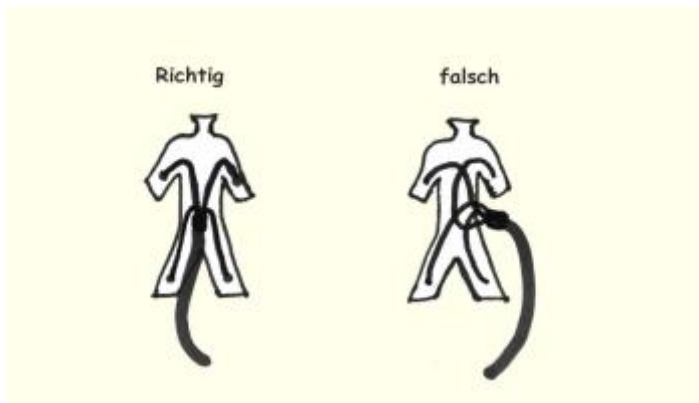
Da auch Skelettmuskeln bei der Depolarisation Felder erzeugen, kann das im EKG zu unerwünschten Störungen führen. Es ist zum Beispiel nicht sinnvoll, einem Patienten mit Kältezittern

ein EKG zu schreiben. Der Patient ist so zu lagern, dass er bequem und unverkrampft liegt. Während des Schreibens soll er sich nicht bewegen und ruhig atmen. Erkrankungen wie M. Parkinson sind beim Schreiben vom EKG hinderlich, weil bei Ihnen das Zittern zu Artefakten im EKG führt.

Schwankungen der Nulllinie



Die Nulllinie ist zur Interpretation des EKG wichtig, sie dient u.A. als Referenzlinie zur Beurteilung der ST- Strecke. Schwankungen der Nulllinie können entstehen, wenn die ableitende Elektroden schlechten Hautkontakt hat oder das Kabel unter Zug steht. Weitere Ursachen können auch tiefes Atmen, Husten, Singultus oder Bewegungen sein.



Bei der Anlage der Elektroden und Kabel sollte darauf geachtet werden, dass die Kabel sich nicht überkreuzen und keine stromführenden Leitungen in der Nähe sind. Dies hilft, Störungen zu vermeiden.

EKG- Beispiel:



In diesem Streifen sind Artefakte, die nicht von den elektrischen Potenzialen des Herzens stammen: Der Patient hat Sinusrhythmus, die Erhebungen in der Mitte sind keine P-Wellen, sondern Schwankungen der Nulllinie.