

ekg *lernen. verstehen. anwenden.*



Skript I:

Zacken, Wellen, Strecken, Zeiten

Die Abschnitte des EKG

Stephan Vossel

Version 3.9



ekg *lernen. verstehen. anwenden.*

Liebe/r Kursteilnehmer/in,

herzlich willkommen zum Kursprogramm "ekg - lernen. verstehen. anwenden".

Ein wesentlicher Bestandteil der Präsenzphase des Kurses ist die aktive Bearbeitung von EKG-Bildern und klinischen Fällen. Hier soll also die praktische Anwendung der Elektrokardiographie im Vordergrund stehen

Zur Vorbereitung hierauf sollen Ihnen die Skripte, neben den SMEDEX-e-learning-Lektionen, die Möglichkeit geben, einige Grundlagen der Elektrokardiographie selbstständig zu wiederholen und zu vertiefen. Dabei sind die Skripte ein von den e-learning-Lektionen unabhängiges Angebot.

Die Skripte ersetzen dabei selbstverständlich kein Lehrbuch, sollten jedoch für eine orientierende Einführung ausreichend sein. Es soll allgemein nicht darum gehen, Details, Ausnahmen und Zahlenwerte auswendig zu lernen - vielmehr sollen grundlegende Mechanismen und Vorgehensweise in ihrem Prinzip verstanden werden.

Für Fragen zu den Skripten stehe ich gerne per e-Mail zur Verfügung.

Ich wünsche Ihnen nun viel Spaß beim Selbststudium und freue mich darauf, Sie schon bald persönlich begrüßen zu dürfen.

Mit herzlichen Grüßen,

Stephan Vossel
sv@12leads.de



Inhaltsverzeichnis

1	RÜCKBLICK AUF DIE ELEKTROPHYSIOLOGIE	4
1.1	AKTIONEN UND POTENZIALE	4
1.2	VEKTORDARSTELLUNG	5
1.3	DER SUMMENVEKTOR	6
1.4	ABLEITUNG DES OBERFLÄCHEN-EKG	6
2	ABSCHNITTE DES EKG	7
2.1	EINLEITUNG	7
2.2	P-WELLE	8
2.3	PQ-STRECKE	9
2.4	PQ-ZEIT	10
2.5	HIS-BÜNDEL	11
2.6	Q-ZACKE	12
2.7	R-ZACKE	12
2.8	S-ZACKE	13
2.9	QRS-KOMPLEX	13
2.10	DIE KORREKTE NOMENKLATUR DES KAMMERKOMPLEXES	14
2.11	ST-STRECKE	15
2.12	T-WELLE	16
2.13	U-WELLE	17
2.14	QT-ZEIT	17
2.15	WAS WIRKLICH WICHTIG IST	19
3	LITERATURVERZEICHNIS	21
4	KONTAKT	21

1 Rückblick auf die Elektrophysiologie

Naturwissenschaftliche Grundlagen sind nicht unbedingt beliebt, jedoch können viele Zusammenhänge ohne gewisse Basiskenntnisse einfach nicht verstanden werden. Um Sie zum Einstieg nicht unnötig zu belasten, werde ich die Herleitung von Membranpotenzialen und deren Veränderungen an dieser Stelle trotzdem überspringen. Die erste Lektion der e-learning-Reihe (zu der Sie uneingeschränkten Zugang haben) widmet sich diesem Thema etwas ausführlicher. Um in jedem Fall diesem Skript folgen zu können, machen Sie sich Folgendes klar:

1. Lebendige Zellen sind intra- und extrazellulär unterschiedlich geladen.
2. Im Ruhepotenzial gilt: Intrazellulär negativ, extrazellulär positiv.
3. Im Aktionspotenzial gilt: Intrazellulär positiv, extrazellulär negativ

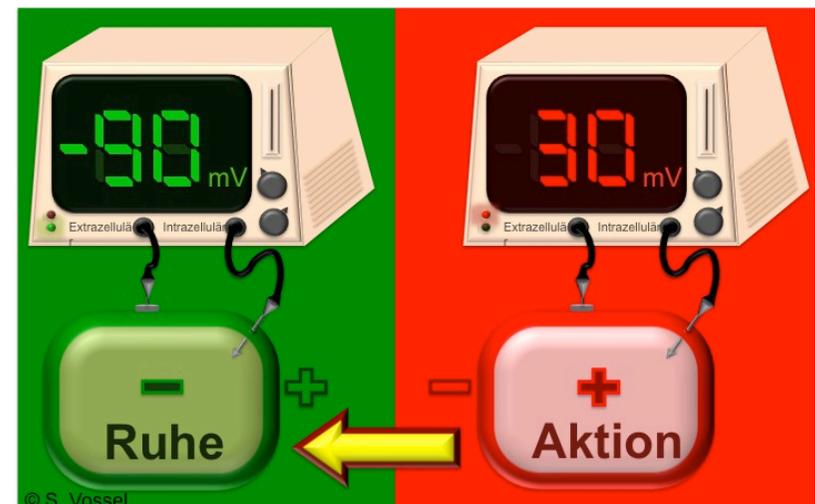
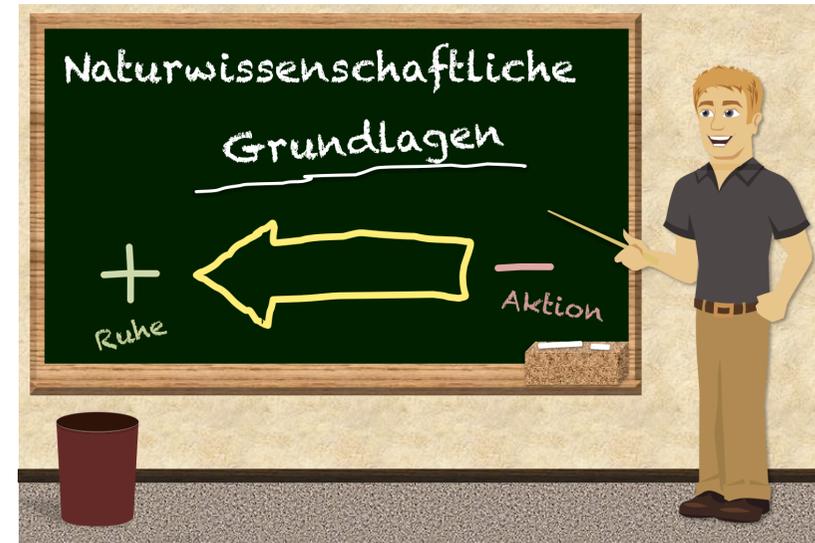
Mit diesen drei einfachen Aussagen sollten die anschließenden Abschnitte verständlich sein – andernfalls würde ich die genannte e-learning-Lektion empfehlen.

1.1 Aktionen und Potenziale

Durch die Verschiebung von elektrisch geladenen Ionen weisen aktivierte Zellen (im Aktionspotenzial) andere Ladungsverhältnisse auf als ruhende Zellen (im Ruhepotenzial).

Somit lässt sich auch am Herz eine elektrische Differenz zwischen erregtem und nicht erregtem Gewebe feststellen, welche mit extrazellulären Elektroden erfasst werden kann.

Diese Potenzialdifferenz wird grafisch mit einem Vektorpfeil dargestellt, welcher immer vom erregtem zum nicht erregten Gewebe zeigt.

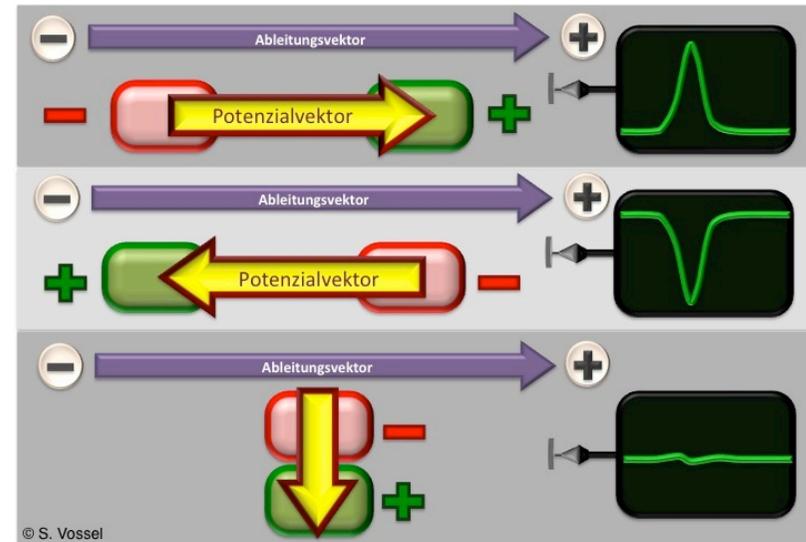


1.2 Vektordarstellung

Eine Ableitung besteht immer aus einer **definierten positiven Elektrode** sowie einem negativen Gegenpol. Je nach Art der Ableitung kann dieser ebenfalls aus einer Elektrode oder aber auch aus der komplizierten Zusammenschaltung mehrerer Elektroden bestehen.

Zwischen negativem und positivem Pol der Ableitung verläuft der **Ableitungsvektor**, dessen **Pfeilspitze auf die positive Ableitungselektrode** zeigt.

Das **Verhältnis der Ausrichtung von Potenzialvektor und Ableitungsvektor entscheidet** darüber, ob die angezeigte Spannungsdifferenz (der Vektor) zu einem positiven oder einem negativen Ausschlag in der Monitoranzeige führt.

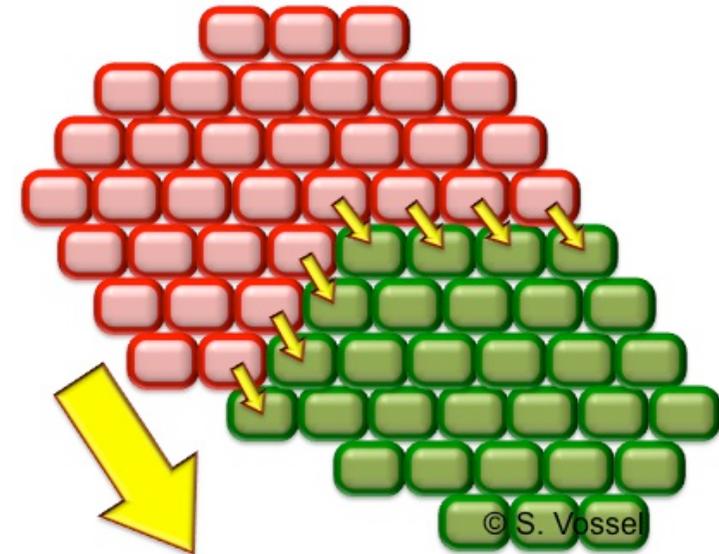


1.3 Der Summenvektor

Da das Herz nicht nur aus zwei einzelnen, sondern aus tausenden von Zellen besteht, kommt es zwischen erregtem und nicht erregtem Gewebe zur Ausbildung einer Vielzahl von Einzelvektoren.

Vektoren lassen sich mathematisch addieren und subtrahieren, so dass sich für jeden Zeitpunkt der Erregungsausbreitung ein Gesamtsummenvektor bilden lässt.

Dieser **Summenvektor** bildet also die **Hauptrichtung der elektrischen Potenzialdifferenz** zum jeweiligen Zeitpunkt ab.

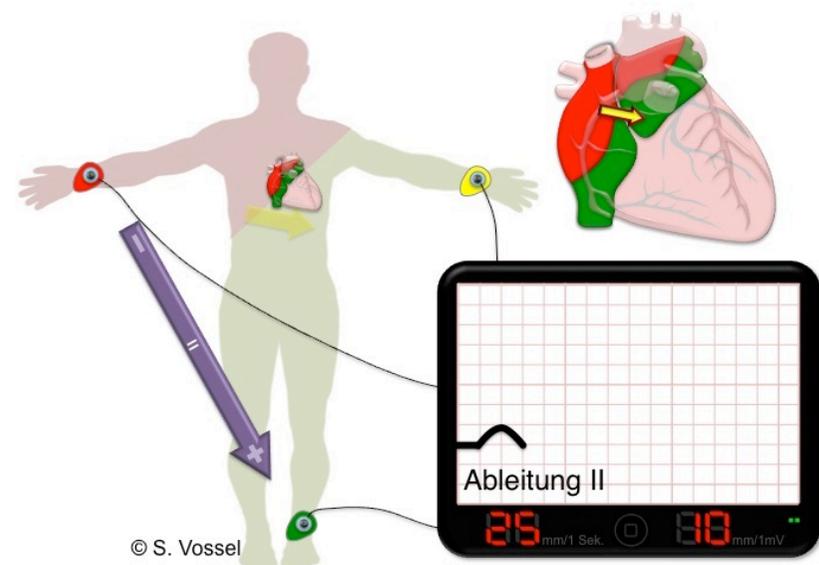


1.4 Ableitung des Oberflächen-EKG

Die elektrische Differenz zwischen nach außen hin negativ geladenem (erregtem) und nach außen hin positiv geladenem (nicht erregtem) Gewebe erzeugt ein **elektrisches Feld**.

Dieses breitet sich über alle Gewebe bis hin zur Haut aus.

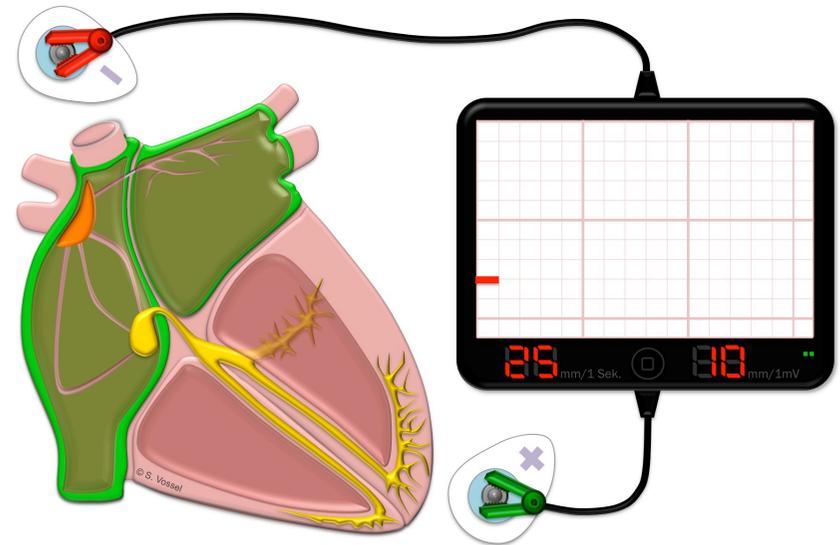
Somit wird verständlich, dass die Ableitung von Potenzialdifferenzen über extrazelluläre Elektroden problemlos über die Haut erfolgen kann.



2 Abschnitte des EKG

2.1 Einleitung

Alle Überlegungen zu Potenzialen, Vektoren und Ableitungen dienen letztendlich nur einem Ziel: Die elektrische Herzaktion soll sichtbar gemacht werden. Mit dem elektrophysiologischen Rüstzeug im Gepäck wenden wir uns nun also dem Produkt dieser Bemühungen mit seinen Wellen, Zacken und Strecken zu. Jeder Abschnitt des EKG repräsentiert einen spezifischen Abschnitt der kardialen Erregungsausbreitung, womit Veränderungen in den Bereichen sehr gezielt und genau untersucht werden können. Ob man die dazugehörigen Zahlenwerte im Kopf haben muss, sei jedem Anwender selbst überlassen. Vielmehr gilt wie so oft in der Medizin: Man muss nicht alles wissen wenn man weiß wo es steht...



2.2 P-Welle

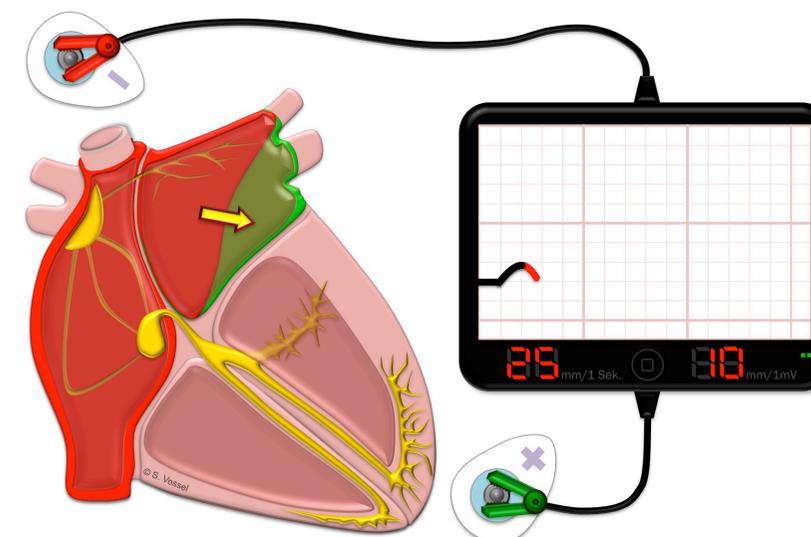
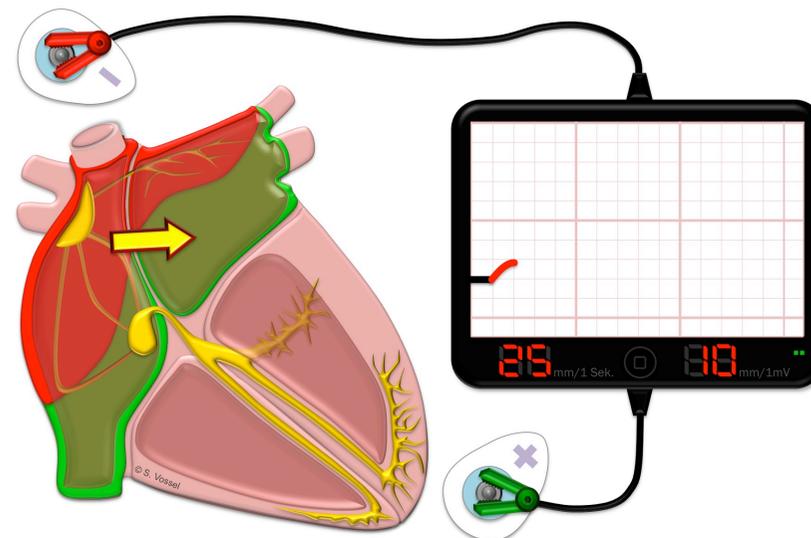
Die P-Welle ist Ausdruck der Erregungsausbreitung in den Vorhöfen. Sie ist halbrund, glatt, konvexbögig, dauert weniger als 120 Millisekunden und darf nicht höher als 0,25mV in den Extremitäten-, bzw. nicht höher als 0,15mV in den Brustwandableitungen sein.

Ein häufiger Fehler bei der Beurteilung von Sinusknoten-Störungen ist die Annahme, dass man dessen Aktion im Oberflächen-EKG sehen könnte. Dafür ist dieser jedoch zu klein, bzw. die Anzahl der initial erregten Zellen reicht nicht aus um einen sichtbaren Ausschlag zu erzeugen. Daher kann man die Konsequenz der Sinusknoten-Aktion, nämlich die Vorhofaktivierung, im EKG sehen, der Knoten an sich ist jedoch nicht sichtbar.

Wenn man sich klar macht, dass der Ursprung der physiologischen Erregung, also der bereits beschriebene Sinusknoten, im rechten Vorhof lokalisiert ist, dann wird deutlich, dass das Myokard des rechten Atrium vor dem des linken Vorhofes depolarisiert wird. In vereinfachter Annäherung kann man somit sagen, dass die erste Hälfte der P-Welle überwiegend der Aktivierung des rechten, der absteigende Teil der Welle hingegen überwiegend die Aktivierung des linken Vorhofes zeigt.

Der Übertritt der Erregung vom rechten auf den linken Vorhof ist dabei gar nicht so trivial wie man glauben könnte. Das Vorhofseptum beinhaltet neben dem elektrisch leitenden Myokard auch einen bindegewebigen Anteil, welcher eine isolierende Wirkung hat. Dass die Leitung von rechts nach links trotzdem wie beschrieben funktioniert, liegt an mindestens drei anatomischen Strukturen: Die Wand des Coronarsinus, Anteile des Foramen ovale sowie eine interatriale Leitungsbahn mit dem Namen „Bachmann-Bündel“ verbinden die Vorhöfe miteinander und stellen somit die Depolarisation des linken Atrium sicher.

Diesem Verlauf entsprechend sollte P in Ableitung I immer positiv und in Ableitung aVR immer negativ sein. Die Brustwandableitungen zeigen ein positives P – wobei V1 die Ausnahme bildet: Hier kann die P-Welle biphasisch



mit einem initial positiven und einem terminal negativen Anteil sein. Warum das so ist, verrät Ihnen die Elektrophysiologie: Denken Sie an die Erregungsausbreitung über die Vorhöfe und machen Sie sich die Anatomie des Herzens sowie die Position der Elektrode V1 klar...

Wichtig: In einer Ableitung sehen alle P-Wellen physiologischerweise identisch aus!

2.3 PQ-Strecke

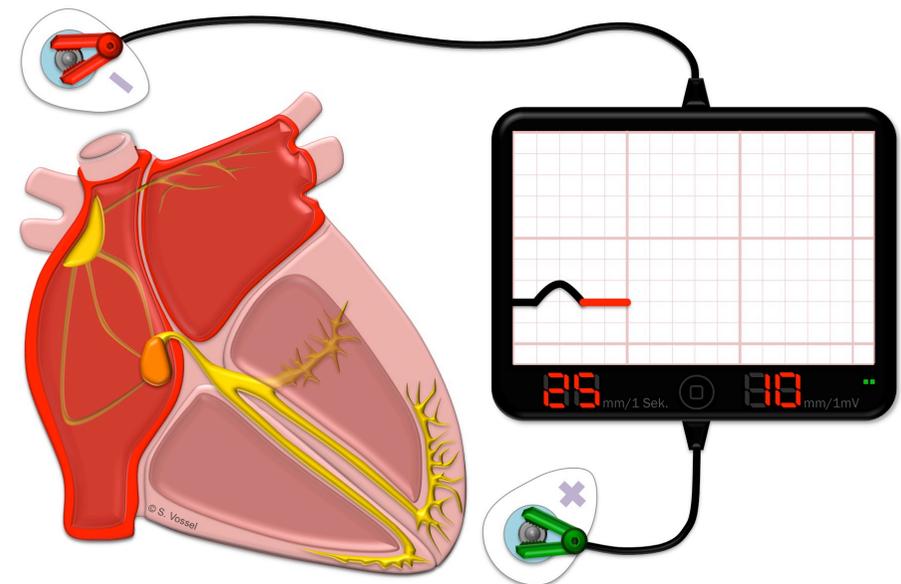
Die PQ-Strecke ist die Linie zwischen Ende der P-Welle und Beginn des QRS-Komplexes und steht für die Phase der vollständigen Vorhoferregung. Die Erregungsfront hat somit den AV-Knoten erreicht, wo eine physiologische Verzögerung der Reizleitung erfolgt. Die so erreichte Desynchronisierung von Vorhof- und Kammersystole trägt zur Ökonomisierung der Herzaktion bei und ist für ca. 20% der diastolischen Ventrikelfüllung verantwortlich.

Wie aus der Abbildung ersichtlich, befinden sich zum Zeitpunkt der Überleitungsverzögerung alle Vorhofzellen im selben elektrischen Zustand, womit folglich keine Potenzialdifferenzen entstehen können.

Zur Erinnerung: **Ohne Potenzialdifferenz kein Vektor und ohne Vektor kein Ausschlag im EKG.** Somit wird klar, warum es zwischen P und QRS-Komplex zu keinerlei Ausschlägen kommt und diese Strecke als „isoelektrisch“ bezeichnet wird.

Für die Betrachtung der ST-Strecke kann die PQ-Strecke als Bezugslinie für die Nullspannung verwendet werden.

Wichtig: Die PQ-Strecke ist nicht die PQ-Zeit!



2.4 PQ-Zeit

Achtung – hier besteht Verwechslungsgefahr!

Die PQ-Zeit ist der Abschnitt von Beginn der P-Welle bis zum Beginn des QRS-Komplexes und beinhaltet somit P-Welle und PQ-Strecke. Die PQ-Zeit entspricht der atrioventrikulären Überleitungszeit, also der Zeit die zwischen Beginn der Vorhoferregung und Beginn der Kammererregung vergeht und dauert physiologisch 120 bis 200 Millisekunden.

Die häufigsten Störungen in diesem Bereich resultieren aus Leitungsverzögerungen im Bereich des AV-Knoten, wodurch die PQ-Zeit auf über 200ms verlängert wird.

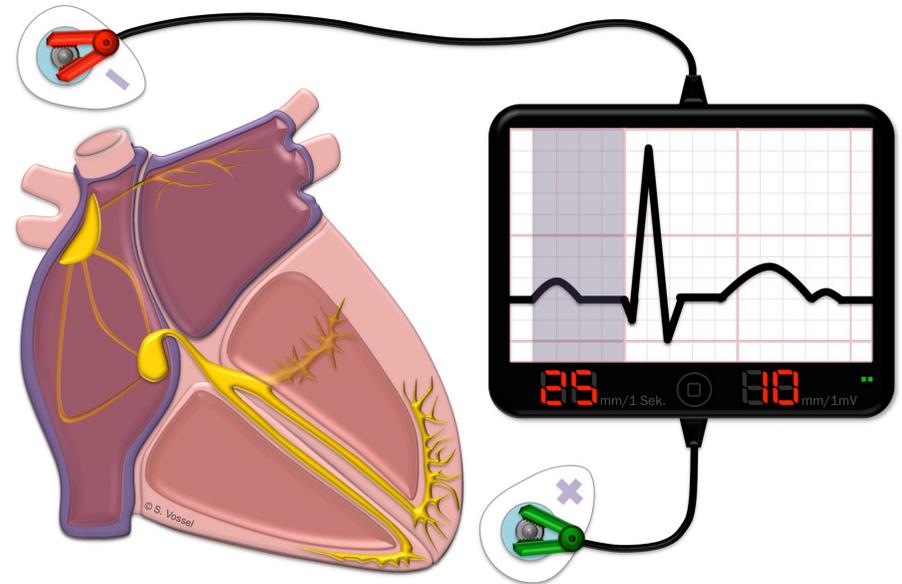
Der kritische Leser kann sich nun die Frage stellen, warum zur Beurteilung der Verzögerung im AV-Knoten die PQ-Zeit und nicht die oben beschriebene PQ-Strecke verwendet wird. Der Gedanke ist prinzipiell absolut korrekt, jedoch ist zu bedenken, dass bei Erregungsausbreitungsstörungen im Vorhof die P-Welle verlängert werden kann – womit sich die PQ-Strecke verkürzt. Eine gleichzeitig bestehende Leitungsverzögerung im AV-Knoten könnte sich somit „tarnen“ wenn man allein die Strecke beurteilen würde.

Um dies zu vermeiden, wird die gesamte PQ-Zeit beurteilt

Tipp: 200 Millisekunden =

→ 5mm bei Schreibgeschwindigkeit 25mm/s.

→ 10mm bei Schreibgeschwindigkeit 50mm/s.



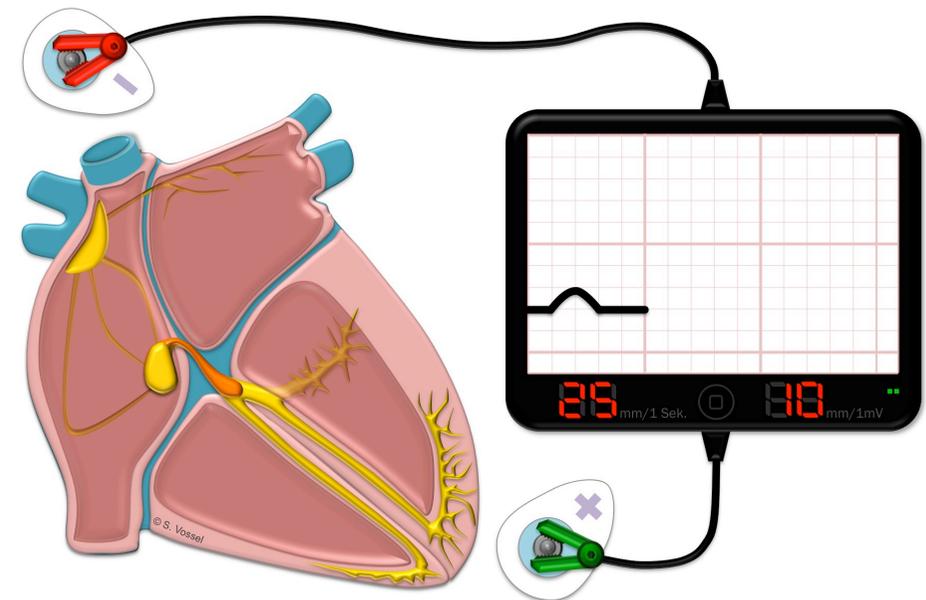
2.5 His-Bündel

Dieser Abschnitt passt genau genommen nicht wirklich in die Beschreibung des normalen EKG, da das His-Bündel zu den Bereichen des Erregungsleitungssystems gehört, die im Oberflächen-EKG nicht sichtbar sind. Für das Verständnis der elektrischen Herzaktion spielt es dennoch eine wichtige Rolle.

Das His-Bündel entspringt aus dem AV-Knoten am Boden des rechten Vorhofes, tritt durch die Ventilebene in den Bereich der Ventrikel ein und zweigt sich im Kammerseptum in den linken und rechten Tawara-Schenkel auf. Die Kenntnis der anatomischen Verhältnisse ist bedeutsam weil:

Die Ventilebene (also die bindegewebige Trennung von Vorhöfen und Kammern) elektrisch nicht leitfähig ist und somit eine Isolation entsteht (in der Abbildung blau eingefärbt). Das His-Bündel ist, bei normaler Anatomie, die einzige Durchtrittsstelle zwischen den beiden Ebenen und trennt somit „supraventrikulär“ von „ventrikulär“. Jeder Impuls mit Ursprung oberhalb der His-Bündel-Aufzweigung kann synchron über beide Tawara-Schenkel fortgeleitet werden, was die Grundvoraussetzung für einen schmalen QRS-Komplex darstellt. Impulse mit Ursprung unterhalb der His-Bündel-Aufzweigung breiten sich hingegen nicht synchron über die Tawara-Schenkel aus, was sich im EKG als Verbreiterung und Deformierung der Kammerkomplexe zeigt. Hieraus wird deutlich, dass die Einteilung „schmaler QRS = supraventrikulärer Ursprung, breiter QRS = ventrikulärer Ursprung“ etwas ungenau gewählt ist. Selbstverständlich gibt es auch weitere Gründe für die Verbreiterung des QRS-Komplexes – dazu jedoch mehr an anderer Stelle.

Wichtig: Die anatomische Grenze zwischen „supraventrikulär“ und „ventrikulär“ ist die Ventilebene mit dem His-Bündel als einzigem physiologischen Durchtrittspunkt. Die funktionale Grenze für schmale oder breite QRS-Komplexe ist die Aufzweigung des His-Bündels in die Tawara-Schenkel.



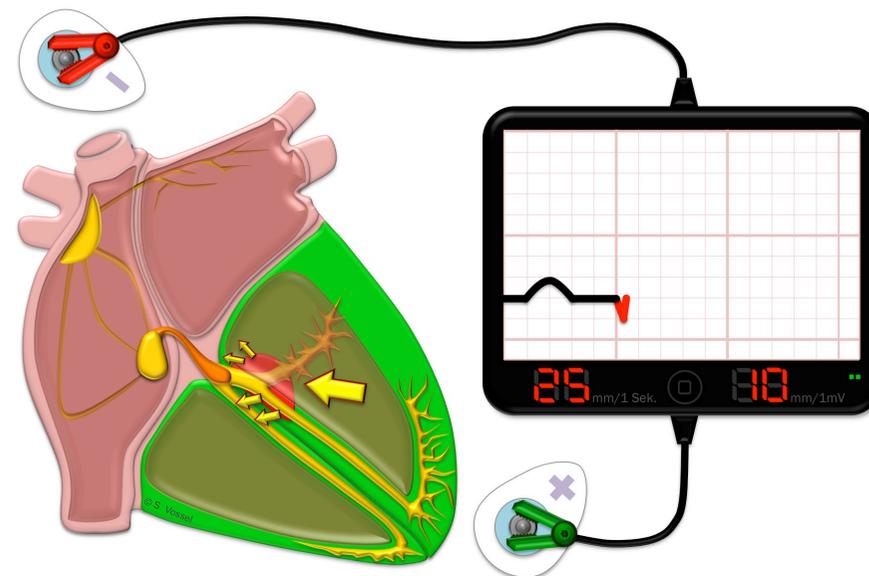
2.6 Q-Zacke

Als **Q-Zacke** bezeichnet man die erste negative Zacke des Kammerkomplexes, wenn ihr keine positive Zacke (R-Zacke) vorausgeht. Sie repräsentiert beim gesunden Herzen die initiale Erregung des Kammerseptums. Mit einer physiologischen Dauer von < 40 Millisekunden und einer maximalen Größe von $\frac{1}{4}$ der nachfolgenden R-Zacke ist die Q-Zacke normalerweise eher unauffällig und in einigen Ableitungen eventuell gar nicht sichtbar. Die Q-Zacke ist dann auffällig, wenn sie gegen die obenstehenden Grenzwerte verstößt, also entweder zu groß, zu breit oder beides ist oder wenn Q-Zacken in den Brustwandableitungen V1 bis V3 zu finden sind. Man spricht dann von einem **Pardée-Q**, welches als Hinweis auf eine Herzmuskelschädigung zu deuten ist.

Tipp: 40 Millisekunden =

→ 1mm bei Schreibgeschwindigkeit 25mm/s.

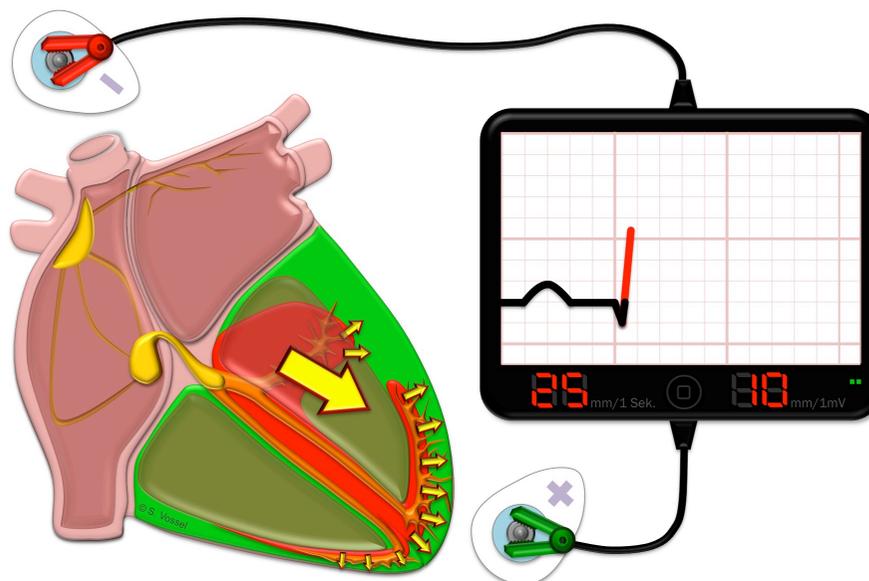
→ 2mm bei Schreibgeschwindigkeit 50mm/s.



2.7 R-Zacke

Als **R-Zacke** bezeichnet man jede nach oben gerichtete Zacke in einem Kammerkomplex. Elektrophysiologisch verbirgt sich dahinter die Erregungsausbreitung über das Ventrikelmyokard, welche von subendokardial nach epikardial (also „von innen nach außen“) erfolgt.

Oft findet man in der Literatur Aussagen, welche der R-Zacke die schnelle Erregungsförderung über die Tawara-Schenkel zuordnen möchten. Das erscheint zwar auf den ersten Blick recht anschaulich, bei genauerer Betrachtung wird jedoch klar, dass bei der Leitung über die Schenkel nicht wirklich viel Gewebe erregt wird. Wie mittlerweile bekannt ist, ist die Höhe des Ausschlages im EKG von der Größe des Summenvektors und nicht von der Geschwindigkeit der Erregungsleitung abhängig – und die große Summe entsteht dort, wo sich viel Myokard befindet.



2.8 S-Zacke

Jede nach unten gerichtete Zacke in einem Kammerkomplex, der eine nach oben gerichtete (R-Zacke) vorausgeht, wird als S-Zacke bezeichnet. Sie beschreibt die abschließende Erregung der Ventrikel in den basalen Bereichen nahe der Ventilebene. Wie die Abbildung zeigt, erfolgt auch hier die Erregungsausbreitung von subendokardial nach epikardial – also auch von innen nach außen. Die im Vergleich zur R-Zacke umgekehrte Polarität der S-Zacke ergibt sich somit einzig daraus, dass die Erregungsfront sich von der Herzspitze (apikal) in Richtung der Herzbasis (basal) ausbreitet.

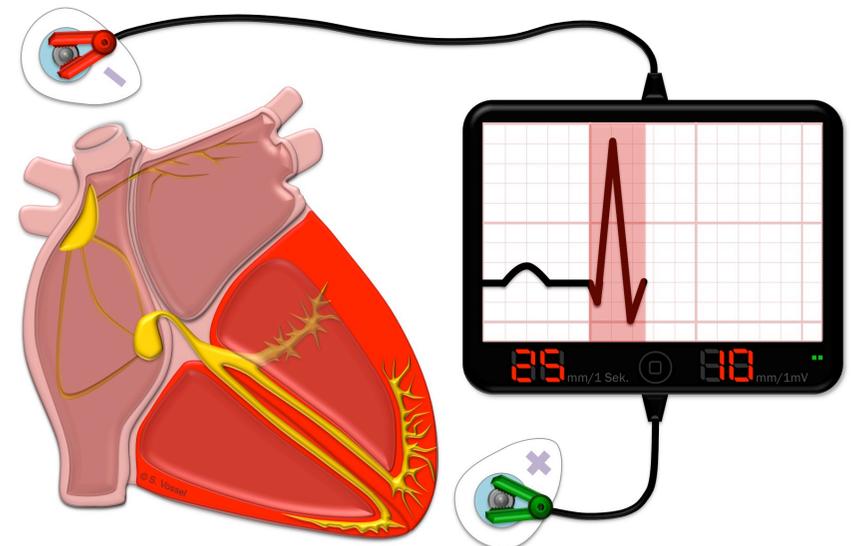
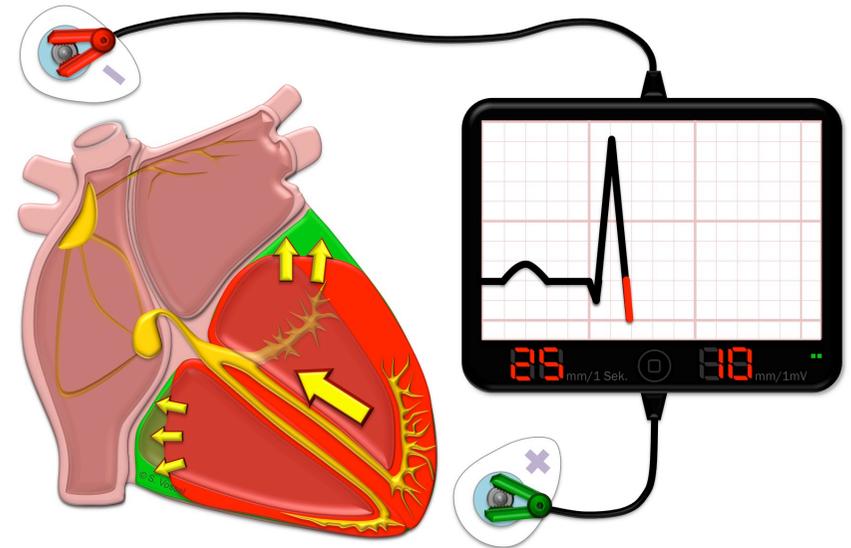
2.9 QRS-Komplex

Die Gesamtheit aus Q-Zacke, R-Zacke und S-Zacke wird als QRS-Komplex bezeichnet. Er repräsentiert die vollständige Erregung der Ventrikel, weshalb auch häufig der Begriff „Kammerkomplex“ verwendet wird. Die schnelle intraventrikuläre Fortleitung über Tawara-Schenkel und Purkinje-Fasern sorgt dafür, dass der QRS-Komplex normalerweise insgesamt nicht länger als 100 Millisekunden dauert. Eine leichte Verlängerung des Kammerkomplexes auf maximal 110 Millisekunden kann durch eine partielle Reizleitungsverzögerung in den Ventrikeln entstehen. Ab einem Wert 120 Millisekunden ist die QRS-Dauer jedoch definitiv pathologisch und lässt auf einen ventrikulären Ursprung der Erregung unterhalb der His-Bündel-Aufzweigung (Ventrikuläre Extrasystolen, ventrikulärer Rhythmus), auf eine hochgradige ventrikuläre Reizleitungsverzögerung oder auf eine vorzeitige Kammererregung über eine zusätzliche Leitungsbahn schließen. Den Übergang aus QRS-Komplex in die ST-Strecke bezeichnet man als **J-Punkt**.

Tipp: 120 Millisekunden =

→ 3mm bei Schreibgeschwindigkeit 25mm/s.

→ 6mm bei Schreibgeschwindigkeit 50mm/s.

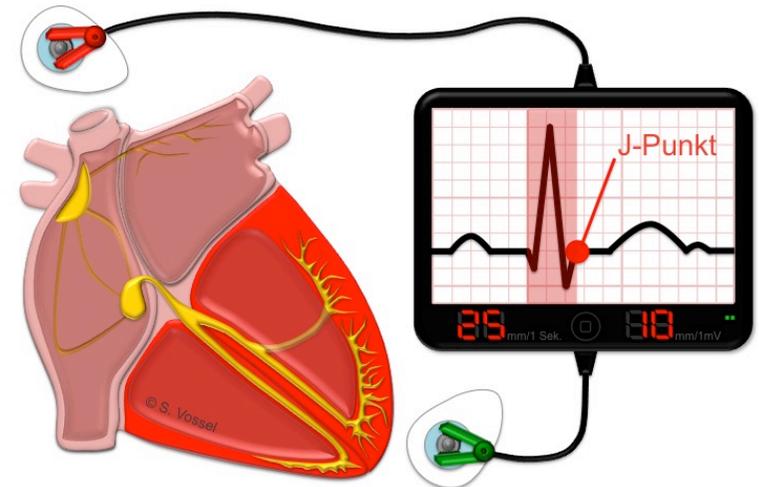


2.10 Die korrekte Nomenklatur des Kammerkomplexes

Da es an dieser Stelle regelmäßig zu Konfusionen kommt, soll die Nomenklatur des Kammerkomplexes nochmals etwas intensiver betrachtet werden. Die Abschnitte Q, R und S beschreiben die Erregungsausbreitung in den Ventrikeln. Daraus hat sich für den Kammerkomplex die Bezeichnung „QRS-Komplex“ als akzeptierter Begriff durchgesetzt. Jedoch ist zu beachten, dass für die Benennung der Abschnitte im EKG festgelegte Regeln (wie sie auch bereits beschrieben wurden) gelten, wonach längst nicht jeder Kammerkomplex ein Q, ein R und ein S aufzuweisen hat. Die Bezeichnung „QRS-Komplex“ soll dadurch nicht in Frage gestellt werden, jedoch muss dem Betrachter die korrekte Benennung der Kammerabschnitte bewusst sein. Im weiteren Verlaufe dieses Textes werden sowohl der Begriff „QRS-Komplex“ wie der Begriff „Kammerkomplex“ mit der selben Bedeutung verwendet. Um Fehler bei der Benennung der Abschnitte zu vermeiden, werden die „Grundregeln“ an diese Stelle nochmals zusammengefasst.

- Als **Q-Zacke** bezeichnet man die erste negative Zacke des Kammerkomplexes, wenn ihr keine positive Zacke (R-Zacke) vorausgeht.
- Jede nach oben gerichtete Zacke im Kammerkomplex wird als **R-Zacke** bezeichnet. Existieren mehrere positive Zacken, so benennt man die zweite als R', die dritte als R''.
- Als **S-Zacke** bezeichnet man jede negative Zacke im Kammerkomplex, der eine positive (R-Zacke) vorausgeht.

Wenn der Kammerkomplex keine positiven Anteile besitzt, bezeichnet man ihn als QS-Komplex, obwohl definitionsgemäß keine „echte“ S-Zacke vorhanden ist. Weiterhin ist es möglich, die Zacken je nach Größenverhältnis zueinander mit dem Groß- oder dem Kleinbuchstaben zu beschreiben. So kann eine kleine R-Zacke mit nachfolgend großer S-Zacke als rS-Komplex beschrieben werden.



QRS-Komplex	rsR'-Komplex	RR'-Komplex
rS-Komplex	QS-Komplex	QrS-Komplex

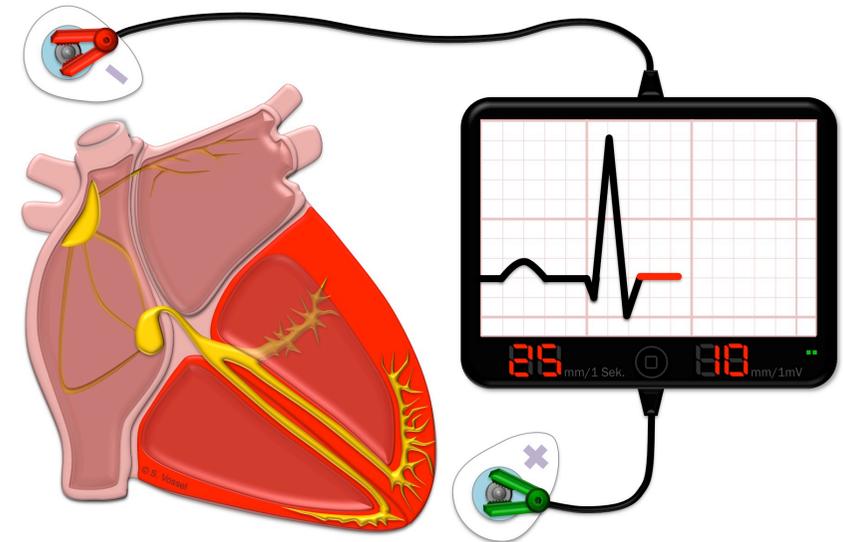
2.11 ST-Strecke

Die ST-Strecke ist die Phase, in der die Ventrikel vollständig depolarisiert sind. Da es in dieser Phase keine weiteren De- oder Repolarisationen gibt, welche zu Potenzialdifferenzen führen könnten, ist die physiologische ST-Strecke eine isoelektrische Linie ohne Hebungen und/oder Senkungen. Als Referenz für diese Nullspannung kann die PQ-Strecke (siehe 2.3) oder die TP-Strecke, also der Bereich zwischen einer T- und der nächsten P-Welle verwendet werden. Für die Beschreibungen von Veränderungen der ST-Strecke im Rahmen der 12-Kanal-Diagnostik betrachtet man den Bereich der ST-Strecke, welcher sich je nach Literatur **am J-Punkt oder 40 – 80 Millisekunden hinter dem J-Punkt** befindet (→ gemäß der aktuell gültigen 3. universellen Definition des Myokardinfarktes wird für die akute Ischämiediagnostik der J-Punkt als Messpunkt empfohlen). Die krankhaften Veränderungen der ST-Strecke werden an anderer Stelle ausführlich behandelt.

Tipp: 40 Millisekunden =

→ 1mm bei Schreibgeschwindigkeit 25mm/s.

→ 2mm bei Schreibgeschwindigkeit 50mm/s.



2.12 T-Welle

Die T-Welle ist eine positive, halbrunde und glatte Welle, welche die Repolarisation der Ventrikel darstellt und nicht höher als 0,5mV in den Extremitäten-, bzw. 1,5mV in den Brustwandableitungen sein sollte.

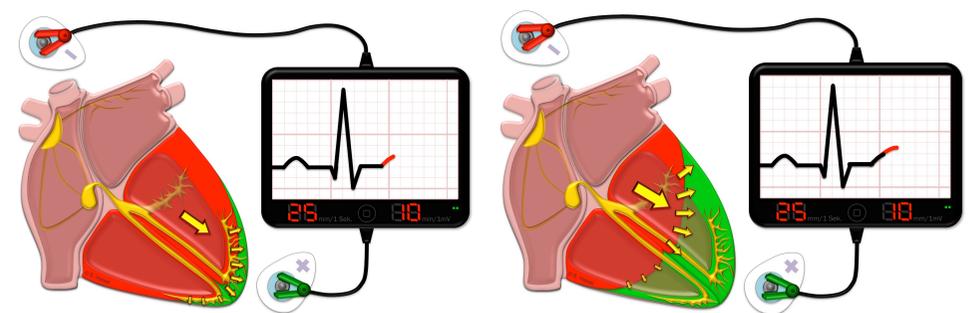
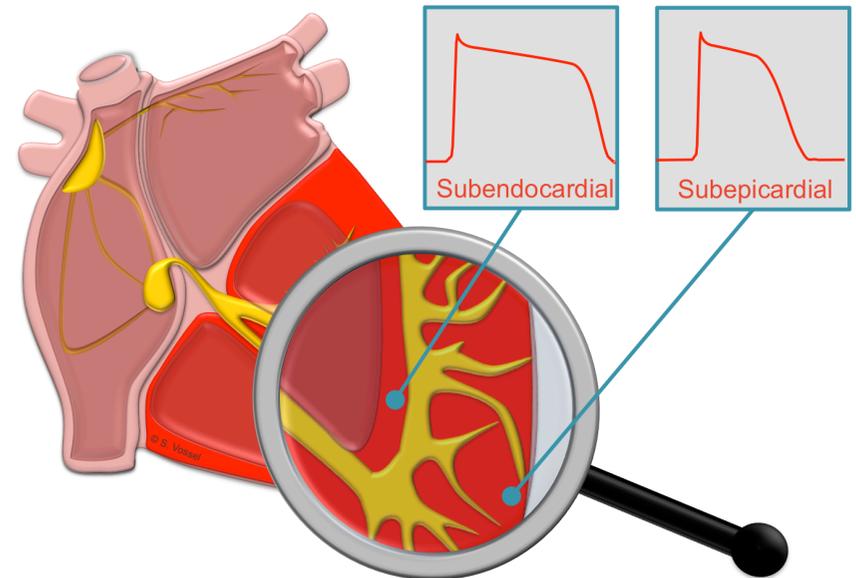
Die Tatsache, dass T positiv ist, obwohl die Repolarisation in der Herzspitze beginnt und sich dann in Richtung Herzbasis ausbreitet, scheint zunächst paradox.

Elektrophysiologisch klärt es sich jedoch auf: Da das Aktionspotential in äußeren Herzmuskelschichten (epikardial) von kürzerer Dauer als in inneren Schichten (endokardial) ist, beginnen die epikardialen Schichten zuerst mit der Repolarisation.

Elektrisch gesehen bedeutet das, dass in den epikardialen äußeren Schichten bereits extrazelluläre positive Potentiale (Ruhepotenzial) vorliegen, während die inneren Schichten noch depolarisiert und somit nach außen hin negativ geladen sind.

Da die Potentialdifferenz immer von Minus nach Plus gerichtet ist, ergibt sich ein Vektor der von innen nach außen zeigt, obwohl der Repolarisation in die entgegengesetzte Richtung fortschreitet. Somit ist die T-Welle positiv.

Im Zusammenhang mit der elektrischen Herzaktion ist zu bedenken, dass der absteigende Teil der T-Welle zeitlich mit der sogenannten vulnerablen Phase einhergeht. In diesem Zeitraum kann eine neuerliche Erregung (z. B. Extrasystolen) zu gefährlichen Rhythmusstörungen bis hin zum Arrest führen (R auf T-Phänomen).



2.13 U-Welle

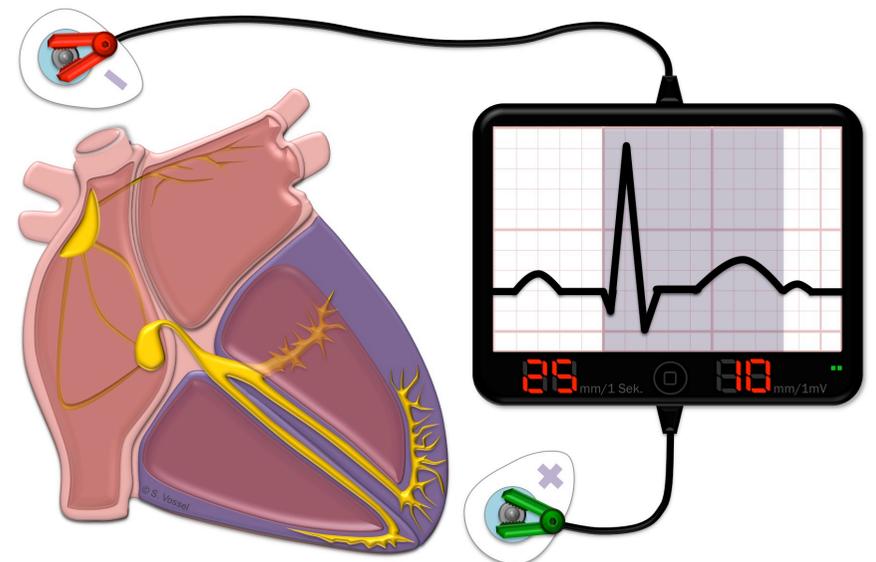
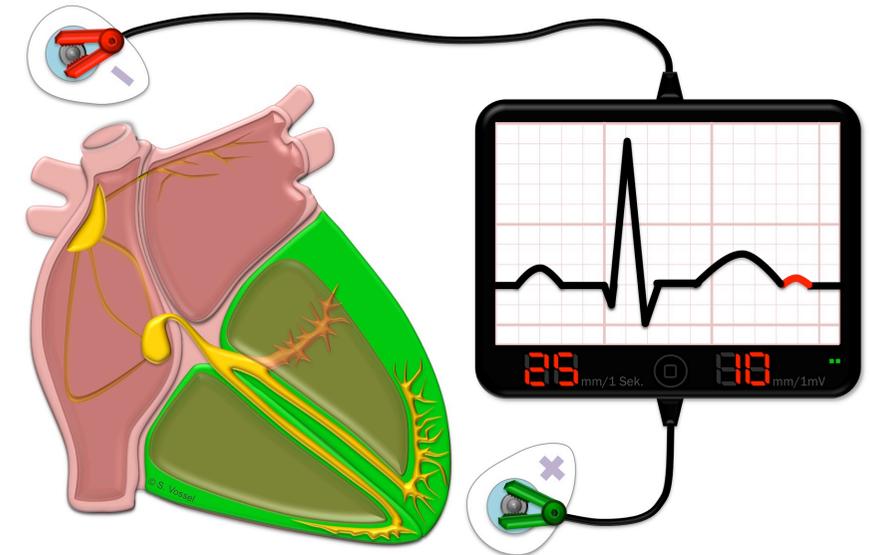
Die U-Welle ist ein Phänomen, welche nicht zwingender Bestandteil des normalen EKG ist. Die genaue Entstehung dieser Welle, welche sich der T-Welle anschließt und 0,2mV (2mm) meist nicht überschreitet, ist bislang weitgehend ungeklärt. Gängige Theorien vermuten Nachdepolarisationen der Ventrikel oder die Erregungsrückbildung im Bereich der Purkinje-Fasern als mögliche Ursachen. Somit ist eine leichte U-Welle (falls überhaupt vorhanden) kein pauschal pathologisches Zeichen im EKG.

Bei folgenden Erkrankungen kann sie jedoch als krankhaft gewertet werden, vor allem dann wenn deutlich betonte oder negative U-Wellen sichtbar sind:

Betonte U-Wellen	Negative U-Wellen
Hypokaliämie	Myokardinfarkt
Hyperthyreose	KHK
Antiarrhythmika-Therapie	Prinzmetal-Angina
Linksventrikuläre Hypertrophie	

2.14 QT-Zeit

Die QT-Zeit ist die Zeit der gesamten intraventrikulären Erregungsdauer (Depolarisation + Repolarisation) und wird vom Beginn des Kammerkomplexes bis zum Ende der T-Welle gemessen. Da die Werte für QT sehr variabel sind und unter anderem von der Herzfrequenz abhängig sind, wird die exakte QT-Zeit frequenzkorrigiert als QT_c nach der Bazett-Formel berechnet. Wichtig ist jedoch die Tatsache, dass eine Verlängerung der QT-Zeit gleichzeitig eine Verlängerung der relativen Refraktärzeit, also der sogenannten „vulnerablen Phase“ bedeuten kann, was die Gefahr von lebensbedrohlichen Arrhythmien wesentlich erhöht. Die Aussagen zu



ekg lernen. verstehen. anwenden.

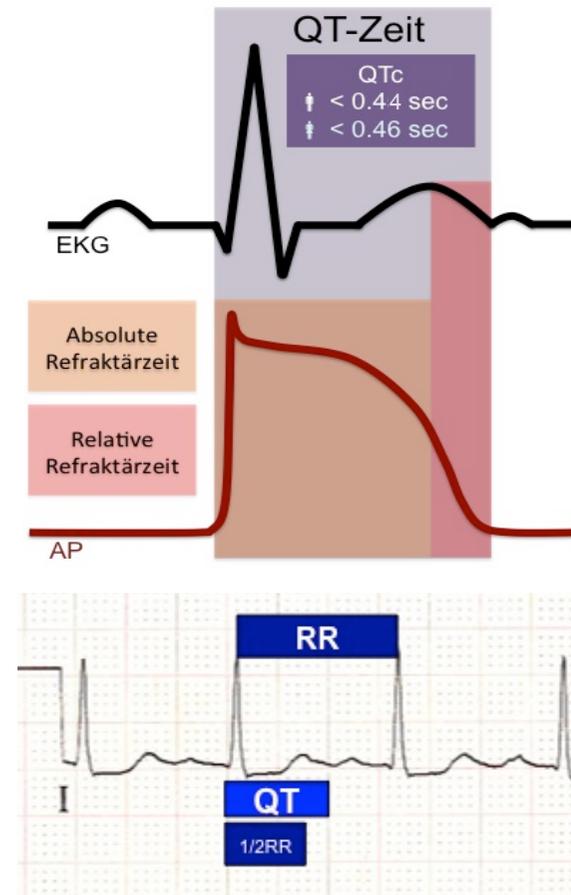
Referenzwerten für die QT_c-Zeit variiert in der Literatur sehr stark, wobei als maximale Obergrenzen 460 Millisekunden für Männer und 440 Millisekunden für Frauen genannt werden.

Die meisten EKG-Geräte mit Analysesoftware berechnen die QT_c automatisch. Hat man ein solches Gerät nicht zur Verfügung, so kann man sich in der Notfallsituation zur groben Orientierung folgender Faustformel bedienen:

Tip: Die QT-Zeit sollte kleiner als die Hälfte des Abstandes zwischen 2 R-Zacken (RR-Intervall) sein. Dauert die QT-Zeit länger als ½ RR, so lässt sich eine QT-Zeit-Verlängerung vermuten.

Diese grobe Schätzung lässt sich mit einem Blatt Papier und Kugelschreiber einfach, schnell und ohne umständliche Formeln bestimmen.

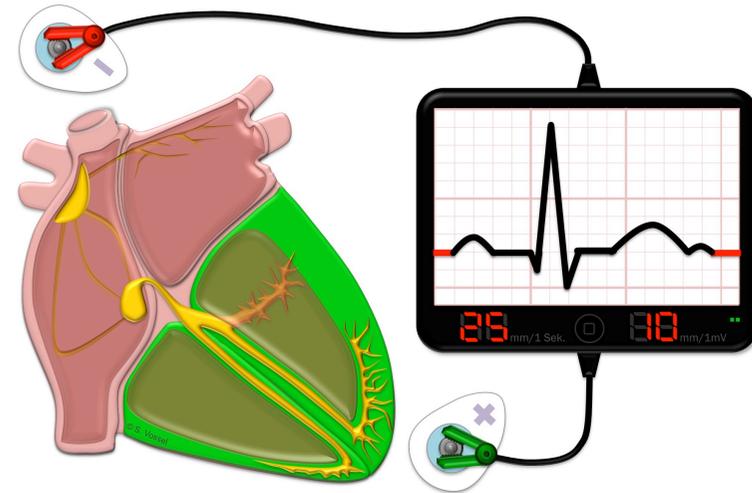
Wird die QT-Zeit überschritten, so spricht man vom „langen QT-Syndrom“, wobei hier angeborene (z.B. Jervell-Lange-Nielsen, Romano-Ward) von erworbenen Formen unterschieden werden. Der Erwerb eines langen QT-Syndroms kann auf verschiedenste Ursachen zurückgehen, wobei besonders Medikamenteneinnahmen und Elektrolytstörungen (welche wiederum auf Medikamenteneinnahmen zurückgehen können) häufig als Auslöser identifiziert werden.



Pharmaka	Elektrolytstörungen	Kardiale Erkrankungen	Erkrankungen des ZNS
Antiarrhythmika Klasse I	Hypokaliämie	Myokardinfarkt	SAB
Antiarrhythmika Klasse III	Hypomagnesiämie	Mitralklappenprolaps	
Antidepressiva (tri+tetra)	Hypokalzämie	Rhythmusstörungen	
Antihistaminika			

2.15 Was wirklich wichtig ist

Soviel also zu den einzelnen Abschnitten des EKG mit den entsprechenden Normalwerten. Wie sich in der Übersicht auf der folgenden Seite zeigt, sammelt sich ein rechtes Zahlenwerk an. Ob es Sinn macht, alle Werte wie Vokabeln auswendig zu lernen, muss jeder für sich selber entscheiden. Für die praktische Anwendung ist die Beherrschung der in den untenstehenden Tabellen aufgezählten Grenzwerte in jedem Fall sinnvoll – für alle weiteren kann es (wie eingangs erwähnt) auch genügen wenn man weiß, wo man sie im Bedarfsfall nachschauen kann...



Rhythmusanalyse

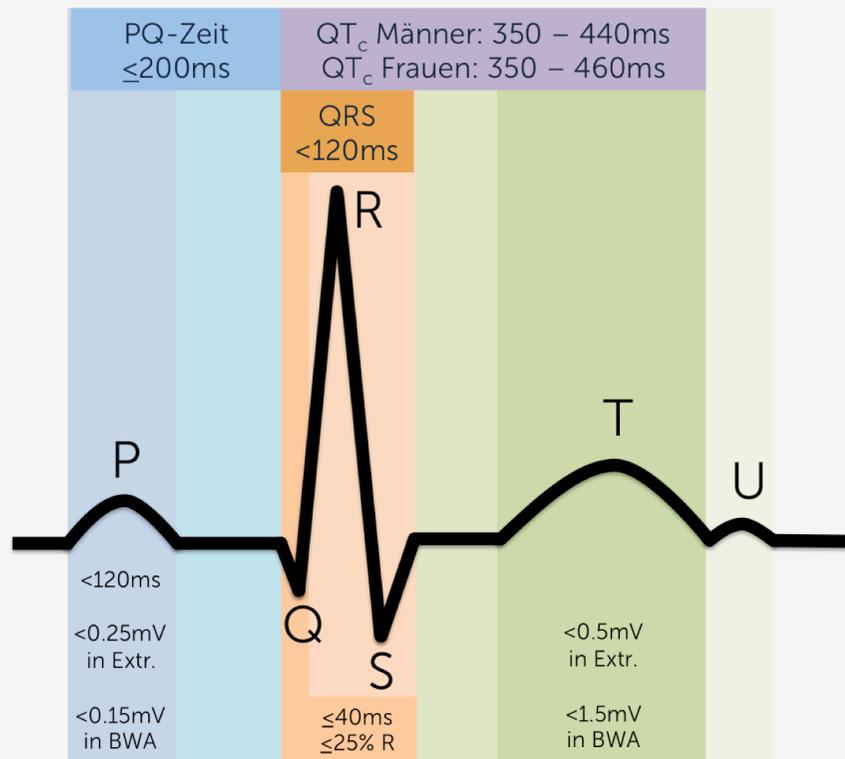
Abschnitt	Dauer	Strecke (25mm/Sek.)	Amplitude	Höhe (1cm = 1mV)
PQ-Zeit	Obergrenze 0,2 Sek.	5mm	---	---
QRS-Dauer	Obergrenze < 0,12 Sek.	< 3mm	---	---

Infarktanalyse

Abschnitt	Dauer	Strecke (25mm/Sek.)	Amplitude	Höhe (1cm = 1mV)
Q-Zacke	Obergrenze 0,04 Sek.	1mm	< ¼ der R-Zacke	Abhängig von R
J-Punkt	Der Übergang aus dem QRS-Komplex in die ST-Strecke			

Auf den Punkt

- Jedem Abschnitt der elektrischen Herzaktion lässt sich ein Abschnitt im EKG zuordnen.
- Diese Abschnitte sind in Wellen, Zacken und Strecken unterteilt, wobei die Wellen und Zacken von P bis T (U) benannt sind.
- Die physiologische elektrische Herzaktion ist exakt definiert, so dass sich für jeden Bereich im EKG Norm- und Grenzwerte beschreiben lassen, von denen ausgehend krankhafte Abweichungen benannt werden können:



- Für die Rhythmusanalyse ist die Kenntnis der PQ-Zeit sowie der QRS-Dauer von Bedeutung.
- Für die Ischämiediagnostik sind vor allem die Grenzwerte der Q-Zacke sowie die Lokalisation des J-Punktes interessant.

3 Literaturverzeichnis

- Wagner, Strauss: Marriott's Practical Electrocardiography, 12th edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2014.
- Wellens, Conover: The ECG in Emergency Decision Making, 2. Auflage. Saunders, 2005.
- Conover: Understanding Electrocardiography, Eight Edition. St. Louis, Missouri, USA: Mosby, 2003.
- Schmidt, Lang, Heckmann: Physiologie des Menschen, 31. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2011.
- Gertsch: Das EKG, 2. Auflage, Springer Verlag Heidelberg, 2008.
- Schuster, Trappe: EKG-Kurs für Isabel, 3., erweiterte Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 2001.
- Lindner: Schnellinterpretation des EKG, 8. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2004
- Scholz et. al.: Notfallmedizin, 2. Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 2008.
- Field, John M.; Hazinski, Mary F.; Gilmore, David (2006): Handbook of Emergency Cardiovascular Care. for Healthcare Providers. 1. Aufl. Dallas: American Heart Association
- Nolan et. al.: European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2005
- American Heart Association: Stabilization of the patient with Acute Coronary Syndromes; Circulation 2005; 112:89

4 Kontakt

Stephan Vossel
sv@12leads.de

12leads.de