



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs
mit einem Standard-12-Kanal-EKG

verfasst von / submitted by

Lukas Tholler, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2020 / Vienna 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt / UA 066 826

degree programme code as it appears on
the student record sheet:

Studienrichtung lt. Studienblatt / Masterstudium Sportwissenschaft UG2002

degree programme as it appears on
the student record sheet:

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag

Abstract

Hintergrund: Die kardiovaskuläre Medizin wird durch mobile Gesundheitstechnologien revolutioniert. Die EKG-Technologie von CardioSecur ermöglicht das Schreiben eines 22-Kanal-EKGs mit nur 4 Elektroden, welche vom User an prägnanten Stellen des Thorax angebracht werden. Dieser erhält sofortiges Feedback auf das mit den Elektroden verbundene Smartphone, ob unmittelbar bzw. in absehbarer Zukunft eine ärztliche Untersuchung notwendig ist.

Auf Grund der potentiellen, häufigeren Verwendung dieser Technologie im Alltag wurde das Smartphone-basierte 22-Kanal-EKG mit einem Standard-12-Kanal-EKG bezüglich der Parameter Herzfrequenz, PQ-Zeit, QRS-Zeit, QT-Zeit und QRS-Achse verglichen.

Methodik: Personen zw. 18 und 60 Jahren ($n=21$; 18 männlich, 3 weiblich, Alter $28,7 \pm 8,8$ Jahre) ohne oder mit kardiovaskulären Vorerkrankungen, welche eine EKG-Untersuchung erlauben, wurden in die Studie eingeschlossen. Die Elektroden von CardioSecur und die des Standard-12-Kanal-EKG wurden angebracht, um eine zeitgleiche Messung zu starten.

Ergebnisse: Das mobile EKG von CardioSecur unterscheidet sich vom Standard-EKG in Bezug auf die Messgenauigkeit der Parameter QRS-Zeit ($t(20) = 3,738$; $p = 0,001$), QT-Zeit ($t(20) = 4,387$; $p = 0,000$) und QRS-Achse ($t(20) = -6,193$; $p = 0,000$) signifikant.

Kein signifikanter Unterschied der beiden EKG-Systeme konnte hingegen bei der Messgenauigkeit der Parameter Herzfrequenz; $t(20) = -0,857$; $p = 0,401$ und PQ-Zeit; $t(20) = 1,908$; $p = 0,071$ festgestellt werden.

Conclusio: Diese Ergebnisse könnten Indizien für den validen Einsatz mobiler, smartphonebasierter EKGs in Bezug auf spezielle, medizinische Fragestellungen liefern. Darüber hinaus werden jene Vorteile erfüllt, welche mobile, benutzerfreundliche EKGs im Vergleich zu stationären, ortsgebundenen EKGs, welche nur von qualifiziertem Personal bedient werden können, bieten.

Abstract

Background: Mobile health technologies are revolutionizing cardiovascular medicine. The ECG technology of CardioSecur can take a 22-lead-ECG using only 4 electrodes which are placed on distinctive body sites of the chest by the user itself. Feedback pops up immediately on the screen of the smartphone connected with the electrodes indicating if there should be a medical examination right now or anytime soon.

Because of the potentially more frequent use of this technology in daily routine the smartphone-based 22-lead-ECG was compared to a standard 12-lead ECG concerning the parameters heart rate, PQ-time, QRS-time, QT-time and QRS-axis.

Methods: People between the age of 18 and 60 ($n=21$; 18 male, 3 female, age $28,7 \pm 8,8$ years) with or without underlying cardiovascular condition which enable ECG monitoring were included in this study. The electrodes of CardioSecur and of the standard 12-lead ECG were placed to do ECG monitoring simultaneously.

Results: The mobile ECG of CardioSecur differs from the standard 12-lead ECG in measuring accuracy of the parameters QRS duration ($t(20) = 3,738$; $p = 0,001$), QT duration ($t(20) = 4,387$; $p = 0,000$) and QRS-axis ($t(20) = -6,193$; $p = 0,000$) significant.

Whereas no significant difference between both ECG-systems was found in measuring accuracy of the parameters heart rate ($t(20) = -0,857$; $p = 0,401$) and PQ duration ($t(20) = 1,908$; $p = 0,071$).

Conclusion: These findings could be seen as indicators for the valid use of mobile smartphone-based ECG technologies in relation to specific medical issues. Furthermore, all advantages of mobile, user-friendly ECGs in comparison to stationary ECGs which can only be handled by medical professionals exist.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	8
Neuartige mobile EKG-Tools vs. Standard-Medizin-Technik.....	10
Problemstellung/ Themenaufriß	13
Forschungsfrage	15
Methodik	15
1. Was ist der Zweck der Studie?	15
2. Wie läuft die Studie ab?	15
3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?	16
4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?	16
6. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?.....	17
7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?	17
8. Entstehen für die Teilnehmerinnen/ Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?.....	18
Grundlagen EKG	19
Die Bedeutung der einzelnen EKG-Zacken	19
Ableitung des EKG	22
Bedeutung erhobener EKG-Parameter	31
QT-Zeit.....	31
P-Welle	31
PQ-Zeit	32
Sokolow-Lyon-Index.....	33
RV-Index (Right Ventricular Index)	33
QRS-Achse (Grad)	34
RBBB – Right Bundle Branch Block (RSB – Rechtsschenkelblock), LBBB – Left Bundle Branch Block (LSB – Linksschenkelblock)	35
Kompletter RBBB.....	38

Kompletter LBBB	39
Inkompletter Block	40
Linksanteriorer Hemiblock	41
Linksposteriorer Hemiblock	42
Frühe Repolarisation inkl. Messwerte (ST-Hebung, J-Punkt)	43
Herzrhythmus & Herzfrequenz	43
Q-Zacken.....	45
R- und S-Zacken	47
QRS-Zeit	49
ST-Strecke und T-Welle.....	50
T-Wellen-Inversion (TWI) – (T-Wellen-Negativierung)	50
Ventrikuläre Extrasystolen (VES), Supraventrikuläre Extrasystolen (SVES)	54
Internationale Empfehlungen für die EKG-Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern	56
Grenzen der EKG-Diagnostik	56
Normale bzw. physiologische EKG-Untersuchungsergebnisse bei Sportlern	57
Physiologische, kardiologische Adaptationen durch regelmäßige körperliche Aktivität.....	57
Differentialdiagnose EKG-Befundung bei Sportlerinnen und Sportlern	62
Abnormale bzw. nicht-physiologische EKG-Untersuchungsergebnisse bei Sportlerinnen und Sportlern.....	63
Abnormale TWI	66
ST-Strecken Senkung	67
Pathologische Q-Wellen	67
Kompletter LBBB	67
Verlängertes QT-Intervall	68
Kurzes QT-Intervall	71
Brugada-Syndrom Typ 1	71
Starke Sinusbradykardie oder AV-Block ersten Grades	73
Hochgradiger Atrioventrikularblock.....	73

Multiple VES	73
Tachyarrhythmien der Vorhöfe	74
Ventrikuläre Arrhythmien	75
Erwägungen bei Sportlerinnen und Sportlern über 30 Jahre	75
EKG-Bilder welche eine fortlaufende Analyse erfordern	75
Schlussfolgerung	75
Theoretischer Hintergrund CardioSecur	77
Einfluss verschiedener EKG-Modelle auf die Diagnoseleistung	78
Vorteile von CardioSecur vs. den Gold Standard	79
Charakteristische Unterschiede zwischen CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG	81
CardioSecur und das Brugada Syndrom	82
Weitere ausgewählte Smartphone-basierte EKG-Systeme im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG	83
Diagnostische Genauigkeit eines Smartphone-basierten EKGs im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG unter klinischen Bedingungen	83
Smartphonebasiertes 4-Kanal-EKG (D-Heart) als kostengünstige Alternative im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG	90
Statistische Datenanalyse	94
Stichprobengröße	94
Forschungsfrage, Nullhypothese und Alternativhypothese	94
Testung auf Normalverteilung als Voraussetzung für den T-Test	95
T-Test und deskriptive Statistik	105
Zusammenfassung erzielter Forschungsergebnisse	107
Herzfrequenz	107
PQ-Zeit	107
QRS-Zeit	107
QT-Zeit	107
QRS-Achse	107
Weitere deskriptive Statistik	108

Diskussion	134
Literaturergebnisse	135
Ergebnisse empirische Studie vs. Literatur	139
Conclusio.....	141
Anhang	142
Literaturverzeichnis.....	155
Abbildungsverzeichnis	157
Tabellenverzeichnis.....	161
Abkürzungsverzeichnis	162
Erklärung.....	164

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei allen Personen bedanken, durch deren Mitwirkung es mir ermöglicht wurde, diese Masterarbeit zu verfassen.

Beginnen möchte ich mit Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag, der mir durch die Betreuung meiner Masterarbeit überhaupt erst die Möglichkeit gab, diese zu verfassen. Er hat von Anfang an viel Zeit und Mühe aufgewendet, persönliche Beziehungen genutzt und auch den Kontakt mit den verantwortlichen Personen hergestellt, ohne deren Mitwirkung der Start meiner Studie nicht möglich gewesen wäre.

Ein weiteres Dankeschön geht an Frau Dr. med. Eszter Csajagi, die mir während der Durchführung der Studie im Labor des ÖISM (Österreichisches Institut für Sportmedizin) stets zur Seite stand. Sie schulte mich auf die generellen Abläufe und Prozesse im ÖISM sowie auf die Handhabung der Software des stationären EKGs ein. Da der Großteil meiner Studienprobanden von mir selbst rekrutiert wurde und nur ein Bruchteil all jener Personen, welche regulärer im ÖISM einen Untersuchungstermin hatten, die vorab definierten Einschlusskriterien erfüllten und sich zudem dazu bereit erklärt hatten, an meiner Studie teilzunehmen, musste Frau Dr. Csajagi viele zeitliche Ressourcen mobilisieren, die sie ansonsten zur Erledigung ihrer Arbeit genützt hätte, um die praktische Durchführung meiner Studie zu ermöglichen.

Ein herzliches Dankeschön richte ich auch an Frau Mag. Dr. Astrid Reif, Bakk., welche mich vor allem im Zusammenhang mit der Erstellung des Ethikantrags unterstützt hat. Sie übermittelte mir die entsprechenden Formulare, überarbeitete in Zusammenarbeit mit Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag meine Fassung und reichte diese bei der Ethikkommission ein, deren positives Votum wohl als Meilenstein gesehen werden kann.

Meine Danksagung gilt auch den übrigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern vom ÖISM, speziell Mag. Roland Hudetschek, welcher eng in Verbindung mit den verantwortlichen Personen von CardioSecur stand. Er wirkte grundlegend bei der Planung der Kooperation zw. CardioSecur und dem ÖISM mit und unterstützte mich auch bei aufgetretenen Hürden wie z.B. bei der automatischen Interpretation der EKGs des mobilen Tools von CardioSecur.

Last but not least möchte ich ein riesengroßes Dankeschön an all jene Personen richten, welche sich als Studienteilnehmerinnen bzw. Studienteilnehmer dazu bereit erklärt haben, mich bei der Durchführung meiner Studie zu unterstützen und mehr noch, diese auch erst

möglich gemacht haben. Aus datenschutzrechtlichen Gründen darf ich die Namen der Testpersonen hier leider nicht erwähnen, umso mehr gilt mein Dank an sie alle.

Zu guter Letzt möchte ich noch einen kurzen Einblick in außergewöhnliche Komplikationen geben, welche ich nicht verurteile, die jedoch die Datenerhebung und somit die Fertigstellung dieser Arbeit leider etwas verzögerten.

Zum einen sei hier das positive Ethikvotum genannt, welches relativ spät beschlossen wurde und ohne dessen die Durchführung der Studie nicht starten durfte. Zum anderen war das iPad, mit welchem die mobilen EKG-Messungen durchgeführt wurden, eine Zeit lang defekt. Und darüber hinaus kam die COVID-19-Pandemie nach Österreich, welche neben all den anderen Auswirkungen auf das Leben jedes einzelnen einen Zugang zur Universität für Studierende und somit die Studiendurchführung im ÖISM auf unbestimmte Zeit nicht möglich machte.

Aufgrund der COVID-19 Pandemie und der dadurch ausgelösten Beschränkungen, insbesondere durch die Verordnung des verhängten Betretungsverbots der Universität für Studierende (Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, ausgegeben am 30. April 2020 Teil II., 197. Verordnung: COVID-19-Lockerungsverordnung COVID-19-LV, § 5. Abs. 1ff, siehe Anhang) kam es zu einem abruptem Abbruch der empirischen Studie. Für die Fortsetzung der Studie wäre die notwendige Inanspruchnahme des Instituts mitsamt den notwendigen technischen Geräten erforderlich gewesen. Es musste auf die vollständige empirische Datenerhebung und den Vergleich der im Titel verfassten Arbeit - „Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG“ – mit den geplanten 100 Probanden verzichtet werden. Der Verfasser der Masterarbeit ersucht um Nachsicht aufgrund der einmalig außergewöhnlichen Zeit und kritischen politischen als auch wirtschaftlichen Situation.

Angemerkt wird, dass 21 Testungen durchgeführt wurden, deren Ergebnisse in der Arbeit dargestellt sind. Trotz der kleinen Stichprobe konnte die Validität im Allgemeinen festgestellt werden.

Neuartige mobile EKG-Tools vs. Standard-Medizin-Technik

Ein 61-jähriger Mann klagt über Schmerzen im Bereich der Brust (unterhalb des Sternums) unter Ruhebedingungen, zusätzlich treten Schweißausbrüche auf. Seine Verwandten litten an frühzeitig auftretenden kardiovaskulären Krankheiten, zeigten jedoch zuvor keinerlei Anzeichen von erhöhten, kardialen Risikoerscheinungen und wiesen eine exzellente Belastungstoleranz auf. Die beschriebenen Symptome treten laufend in einem Zeitraum von 3 Monaten auf bis der 61-jährige eines Tages in die Notaufnahme eingeliefert wird. Im Krankenhaus zeigt das angelegte 12-Kanal-EKG (Elektrokardiogramm) keine Auffälligkeiten sowie der Troponinwert keine Abweichung von der Norm (Joseph & Redwood, 2017).

Troponin is a component of the contractile apparatus within skeletal and cardiac myocytes. Along with calcium ions, troponin proteins regulate and facilitate the interaction between actin and myosin filaments as part of the sliding filament mechanism of muscle contraction. Cardiac troponin (cTn) is a complex comprising three subunits: troponin T attaches the troponin complex to the actin filament; troponin C acts as the calcium binding site; troponin I inhibits interaction with myosin heads in the absence of sufficient calcium ions. Troponin C is synthesised in skeletal and cardiac muscle. Troponin T and I isoforms are highly specific and sensitive to cardiac myocytes and, therefore, are known as cardiac troponins (cTn). The detection of cTn-T or cTn-I in the blood stream is, therefore, a highly specific marker for cardiac damage (Dancso et al., 2017, p.148).

Dem Patienten wurde ein GTN (Glycerin-Trinitrat)-Spray verordnet, woraufhin die nächste Herzüberprüfung ein normales Belastungsstress-Echokardiogramm ergab (Joseph & Redwood, 2017).

„The glyceryl trinitrate (GTN) patch is commonly used as a simple and practical means of delivering nitric oxide to patients with ischaemic heart disease, but whether acute

cardioprotection can be achieved by application of a GTN patch has not been investigated before.” (Ahluwalia, Davidson, He, Khambata & Yellon, 2018, p.1)

Der Patient litt allerdings weiterhin an Brustschmerzen, welche fortlaufend mit dem GTN-Spray bekämpft wurden. Während einer dieser Schmerzphasen wurde ein mobiles EKG (AliveCor Inc., USA), verbunden mit einem Smartphone, geschrieben. Das 1-Kanal-EKG zeigte eine Erhöhung der ST-Strecke mit unregelmäßig, auftretender Ektopie (Abb. 1A), welche sich durch die anschließende Einnahme des GTN-Sprays wieder normalisierte (Abb. 1B) (Joseph & Redwood, 2017).



Abb. 1: 1-Kanal-EKG: Ableitung erhalten durch AliveCor während dem Auftreten von Brustschmerzen unter Ruhebedingungen; sichtbar eine Erhöhung der ST-Strecke und ein ektopisches Triplet (A) und darauffolgende sublinguale (unterhalb der Zunge) Verabreichung von GTN mit anschließender Normalisierung der ST-Strecke (B) – beide EKG-Streifen wurden mit 50 Hz geglättet; Skalierung: 25 Millimeter pro Sekunde (mm/s), 10 mm/ Millivolt (mV) (mod. n. Joseph & Redwood, 2017, p.309).

„Die Erregung entsteht ektop (außerhalb des Sinusknotens an einem abnormen Ort des Vorhofmyokards).“ (Schuster & Trappe, 2017, S.19)

Auf Grund der vorübergehenden Erhöhung der ST-Strecke wurde der Patient ins Krankenhaus eingeliefert, um den Prozess der dringend einhergehenden, koronaren Angiographie zu durchlaufen. Dies soll plakativ als Beispiel für geringfügige, atheromatöse Veränderungen, welche unter der Bedrängnis von der Beurteilung von Ableitungen unter der Verwendung von intravenösem Adenosin als nicht physiologisch, signifikant eingestuft werden, dienen (Joseph & Redwood, 2017).

Durch die Abwesenheit von Belastungssymptomen, einem Echokardiogramm unter Normalspannung sowie Normbedingungen bei invasiven Maßnahmen, wurde die Angioplastie nicht fortgesetzt (Joseph & Redwood, 2017).

Ein Spasmus der Koronararterie wurde diagnostiziert und die Behandlung mittels Vasodilatoren (Diltiazem) und Statin wurde eingeleitet. Eine klinische Verlaufskontrolle 6 Monate später zeigte, dass der Patient keine Symptome hatte und eine ausgezeichnete, physische Leistungsfähigkeit aufwies (Joseph & Redwood, 2017).

Dieser medizinische Notfall soll beispielhaft den Nutzen neuartiger mobiler Technologien zur Diagnoseerstellung demonstrieren. Diese Tools liefern relativ genaue medizinische Daten und stellen die Art und Weise der heutigen Praxis der modernen Medizin in Frage. Laufende Forschungstätigkeit fokussiert den besten Nutzen der riesigen Mengen an Daten, erarbeitet klinisch nützliche Maßnahmen und Möglichkeiten, um diese in das bereits bestehende Gesundheitssystem mit dem Ziel der Verbesserung klinischer Ergebnisse zu integrieren (Joseph & Redwood, 2017).

Problemstellung/ Themenaufriss

Das Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG.

In der heutigen Zeit wird die Praxistätigkeit der kardiovaskulären Medizin mittels transportabler Gesundheitstechniken revolutioniert. Die Globalisierung der Smartphone-Technologien führt zu fundamentalen, diagnostischen Veränderungen. So können genau so relevante, lokale Daten durch die Patientin/ den Patient eigenständig generiert werden anstatt mit Hilfe eines zentralen Anbieters (Avvantaggiato et al., 2017).

Während wohlhabende Staaten an der Weltspritze in Bezug auf die Entwicklung der neuesten mobilen Gesundheitstechnologien bleiben, übersteigt neuerdings der zum Einsatz kommende Anteil dieser modernen Technologien im Gesundheitswesen in Staaten mit niedrigem bis mittlerem Einkommen jene Verbrauchszahlen der reichen Industriestaaten. Im Allgemeinen zeigen Entwicklungs- bzw. Schwellenländer die größten Einschränkungen in Bezug auf deren Gesundheitssystem auf Grund von mangelnder Infrastruktur sowie auf Grund eingeschränkter personeller bzw. logistischer Ressourcen. Smartphone-basierte Technologien könnten die Lösung für einige dieser Limitationen mit Hilfe eines simplen sowie finanziell erträglichen Zugangs zu diesen präzisen, diagnostischen Überwachungsmethoden darstellen (Avvantaggiato et al., 2017).

Smartphones breiten sich in der heutigen Gesellschaft immer mehr aus. Die Allgegenwärtigkeit unter Kindern sowie unter Erwachsenen stellt keine Ausnahmeerscheinung dar. Daten zeigen, dass 85% der Jugendlichen Smartphones verwenden bzw., dass 95% der Teenager gerade online sind (Dalal, Gropler, Silva & Van Hare, 2018).

Der Fortschritt der kabellosen, mobilen Technologie sowie der digitalen Kommunikation führte dazu, dass Gesundheitsmonitoring ermöglicht wird. Ein Beispiel hierfür sei der “AliveCor Kardia heart monitor”, ein Smartphone-basiertes System aus San Francisco, welches einen Herzrhythmusstreifen mittels eines einzigen Kabels schreibt, welcher in Bezug auf seine Genauigkeit mit jenem eines Standard-12-Kanal-EKGs vergleichbar ist (Dalal et al., 2018).

Patientinnen bzw. Patienten mit Symptomen welche auf kardiale Arrhythmien hindeuten könnten besuchen häufig ihre Ärztin bzw. ihren Arzt in deren Primärversorgungseinrichtung. Erscheinungsformen der Symptome inkludieren Herzrasen, leichte Kopfschmerzen sowie (beinahe) auftretende Ohnmachtsanfälle die zw. 0.8% und 16% der Symptome ausmachen (Groot et al., 2019).

Einige Herzrhythmusstörungen, wie ektope Herzschläge, sind häufige EKG-Untersuchungsergebnisse, welche im Allgemeinen kein medizinisches Handeln erfordern. Andere wie Vorhofflimmern bzw. Vorhofflattern treten bei schätzungsweise 2-3% der Bevölkerung auf und implizieren weitere Untersuchungen, um das mithergehende Risiko eines Schlaganfalls oder Herzinfarkts zu reduzieren. Im Falle, dass eine kardiale Rhythmusstörung bei einer/ einem symptomatischen Patientin/ Patienten zu erwarten ist, sollte stets ein Ruhe-12-Kanal-EKG geschrieben werden (Groot et al., 2019).

Leider ist das Schreiben eines 12-Kanal-EKGs manchmal umständlich (beispielsweise bei Hausbesuchen); zudem ist es nicht in jeder Praxis verfügbar. Das zeigt sich auch in der Statistik, dass nur ca. ein Drittel aller Fälle während einer symptomatischen Periode mittels EKG überwacht werden. Die Verfügbarkeit eines dezenten, handlichen, tragbaren EKG-Tools führt wahrscheinlich zu geringeren, logistischen Problemen, um ein EKG jederzeit schreiben zu können und könnte somit Hinweise relevanter Arrhythmien in der Gesundheitsprävention liefern (Groot et al., 2019).

Solch eine Anwendung wie z.B. KardiaMobile, stellt ein mit dem Smartphone verbundenes 1-Kabel-EKG dar. Smartphone-basierte EKG-Technologien wurden für Screeningzwecke entwickelt und haben sich bislang bewährt. Aus einem aktuellen Bericht der „United Kingdom’s National Health Service“ geht hervor, dass eine hohe Kosteneinsparung bei Primärversorgungseinrichtungen durch das Tool erwartet wird (Groot et al., 2019).

Weltweit betrachtet stellt das 12-Kanal-EKG den Goldstandard der Elektrokardiographie dar, um Mangel durchblutungen des Herzmuskels festzustellen. Die zwölf, graphischen Ableitungen werden für gewöhnlich von 10 Elektroden erzeugt (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

“EASI-Standard” bezeichnet eine alternative Methode, ein 12-Kanal-EKG nur unter Verwendung von 5 Elektroden zu schreiben. Das EASI-Standard 12-Kanal-EKG wird mittels 4 Elektroden und einer zusätzlichen Elektrode für die Erdung aufgezeichnet. Etliche Studien (z.B. Wehr et al., 2006 & Lancia et al., 2017) zeigen eine sehr hohe Korrelation in Bezug auf die Erfassung von akuten, myokardialen Infarkten zw. dem EASI-EKG und dem

Standard-12-Kanal-EKG (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Das EKG-System von CardioSecur umfasst keine zusätzliche Elektrode für die Erdung und ermöglicht somit ein abgeleitetes 12-Kanal-EKG von 4 Elektroden. Die Übereinstimmung des EKG-Systems von CardioSecur mit dem Golden Standard wurde bereits klinisch geprüft und publiziert (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Forschungsfrage

Gibt es einen Unterschied in den EKG-Parametern (HF, RR-Intervalle, PQ-Zeiten, QRS-Komplex, QT/QTc-Zeit, T-Negativierung) zwischen einem Smartphone-basierten 12-Kanal-EKG und einem Standard-12-Kanal-EKG?

Methodik

1. Was ist der Zweck der Studie?

Der Zweck der geplanten Studie ist die Validierung eines Smartphone-basierten 4-Elektroden- Elektrokardiographie (EKG) Geräts mit einem Standard-12-Kanal-EKG Gerät. Dabei wird ein Ruhe-EKG der jeweils unterschiedlichen EKG-Typen miteinander verglichen.

2. Wie läuft die Studie ab?

Zuerst werden die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft, bevor anschließend die Testung beginnt. Eine Testung beinhaltet zwei Ruhe-EKGs, wobei eine mit einem Smartphone-basierte 4-Elektroden-EKG und eine weitere mit einem Standard-12-Kanal-EKG durchgeführt wird. Die Messungen der beiden Geräte finden zeitgleich statt. Dabei werden bei freiem Oberkörper die Elektroden auf der Haut angelegt. Die Herzaktivität wird mit beiden Geräten im Liegen gemessen, um anschließend eine

Vergleichsanalyse zwischen den beiden Geräten durchzuführen. Die Testdauer pro Probandin/ Proband beträgt ca. 10 Min..

Ich, Lukas Tholler als Versuchsleiter sowie die Studienmitarbeiterin sind Studierende der Sportwissenschaft mit dem Schwerpunkt der medizinischen Trainingstherapie. Sie wurden vom Studienleiter (Studienarzt) eingeschult ein EKG korrekt anzulegen, wobei ich als Versuchsleiter jeweils selbst die EKGs angelegt hatte.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist nicht zu erwarten, dass die Testpersonen nur aufgrund Ihrer Teilnahme an der Studie einen relevanten, gesundheitlichen Nutzen ziehen. Die Teilnahme war selbstverständlich mit keinerlei Kosten für die Testpersonen verbunden. Es wurde ausdrücklich betont, dass die EKGs **nicht** befundet werden und somit kein Befund für die Testpersonen verfasst wird.

4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?

Die Teilnahme an der Studie führte zu keinen zusätzlichen Risiken für die Gesundheit. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig bei Routineuntersuchungen eingesetzt.

Ausschlusskriterien:

- Alter <18 Jahren und >60 Jahren

Einschlusskriterien:

- Frauen und Männer ab dem 18. Lebensjahr
- Motivation an Forschung zu Gesundheitszwecken teilzunehmen
- Personen ohne kardiovaskulärer Vorerkrankung bzw. mit kardiovaskulärer Vorerkrankung, welche eine EKG-Untersuchung erlaubt

5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Die Teilnahme an der Studie führte zu keinerlei Auswirkungen auf die Lebensführung oder zu sonstigen Verpflichtungen.

6. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Jede Testperson hat das Recht, die Teilnahmebereitschaft jederzeit zu widerrufen. Dies ist auch ohne Angabe von Gründen möglich. Durch ein Ausscheiden aus der Studie entstehen keine Nachteile. Um die Bereitschaft zur Teilnahme zu widerrufen, kann jederzeit der Versuchsleiter oder Studienleiter kontaktiert werden (persönlich, per Mail oder Telefon, siehe Punkt 9).

Es ist aber auch möglich, dass der Versuchsleiter entscheidet, die Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden. Hierbei muss vorher kein Einverständnis von der Testperson eingeholt werden. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Die Testperson entspricht nicht den Erfordernissen der Studie.
- b) Der Versuchsleiter hat den Eindruck, dass die Teilnahme an der Studie nicht im Interesse der Testperson ist.

7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Um die Pseudonymisierung zu gewährleisten, werden für die Auswertung die Namen der Teilnehmerinnen/ Teilnehmer durch eine Ziffer ersetzt. Auch werden im Softwareprogramm des herkömmlichen 12-Kanal-EKGs sowie in jenem des Smartphone-basierten 22-Kanal-EKGs die Teilnehmerinnen/ die Teilnehmer ausschließlich mit einer Ziffer gekennzeichnet und nicht mit deren Namen. Die Namen der Teilnehmerinnen/ der Teilnehmer sind ausschließlich dem Versuchsleiter bekannt und werden nur auf der Einverständniserklärung und einer Zuordnungsdatei (Code und Name) vermerkt. Diese Zuordnungsdatei befindet sich auf dem passwortgeschützten Rechner des Versuchsleiters, zu dem nur dieser Zugang hat und wird 8 Wochen nach der Testung gelöscht. Die Einverständniserklärungen werden in einem verschließbaren Kasten gelagert zudem ebenfalls nur der Versuchsleiter Zugang hat. Der Versuchsleiter

ist verpflichtet keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse an Dritte weiter zu geben. Die aufgenommenen Daten werden ausschließlich zu statistischen Zwecken gesammelt und verwendet. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden die Probanden nicht namentlich genannt. Nur die am Projekt mitwirkenden Personen (Studienleiter, Versuchsleiter und Studienmitarbeiterin) haben Zugang zu den Daten der EKG-Testungen, sie sind zudem zur Verschwiegenheit verpflichtet.

Die Probanden haben die Möglichkeit sowohl in die persönlichen Ergebnisse, als auch in das Gesamtergebnis Einsicht zu erhalten. Die persönlichen Ergebnisse können die Probanden allerdings nur bis 8 Wochen nach deren letzten Test einsehen, da danach die Zuordnung nicht mehr möglich ist. Dies verlangt eine terminliche Vereinbarung mit dem Studienleiter oder dem Versuchsleiter (Kontaktdaten siehe Punkt 9). Die Probanden haben zudem das Recht, die Löschung ihrer Daten innerhalb von 8 Wochen nach ihrem letzten Test zu beantragen. Die Probanden müssen sich diesbezüglich ebenfalls an die Studienleitung oder die Versuchsleitung der Studie wenden (Kontaktdaten siehe Punkt 9).

8. Entstehen für die Teilnehmerinnen/ Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Für die Teilnahme an dieser Studie können keinerlei Vergütung und kein Kostenersatz gewährt werden. Die Teilnahme ist kostenlos.

Grundlagen EKG

Die Bedeutung der einzelnen EKG-Zacken

Der Sinusknoten ist normalerweise das Schrittmacherzentrum des Herzens, in welchem elektrische Impulse erzeugt und auf die Muskulatur des Atriums übergeleitet (sinuatriale Überleitung) und anschließend im Vorhof ausgebreitet (intraatriale Erregungsausbreitung = Vorhoferregung = Vorhofleitung) werden. Im Anschluss gelangt die elektrische Erregung über den Atrioventrikular (AV)-Knoten und das His-Bündel zum Myokard der Herzkammern (atrioventrikuläre Überleitung). Die beiden intraventrikulären Reizleitungsschenkel sowie die Purkinje-Fasern sind für die Weiterleitung des elektrischen Signals und in dessen Folge für die Erregung der Kammermuskulatur verantwortlich (intraventrikuläre Erregungsausbreitung = Kammererregung) (Schuster & Trappe, 2017).

Das sogenannte spezifische Reizleitungssystem des Herzens setzt sich aus dem AV-Knoten, dem His-Bündel und dem rechten und linken Reizleitungsschenkel, wobei sich dieser in einen linksanterioren und linksposterioren Faszikel spaltet, zusammen. In der folgenden Abbildung wird die Reizbildung bzw. Erregungsausbreitung vereinfacht dargestellt (Schuster & Trappe, 2017).

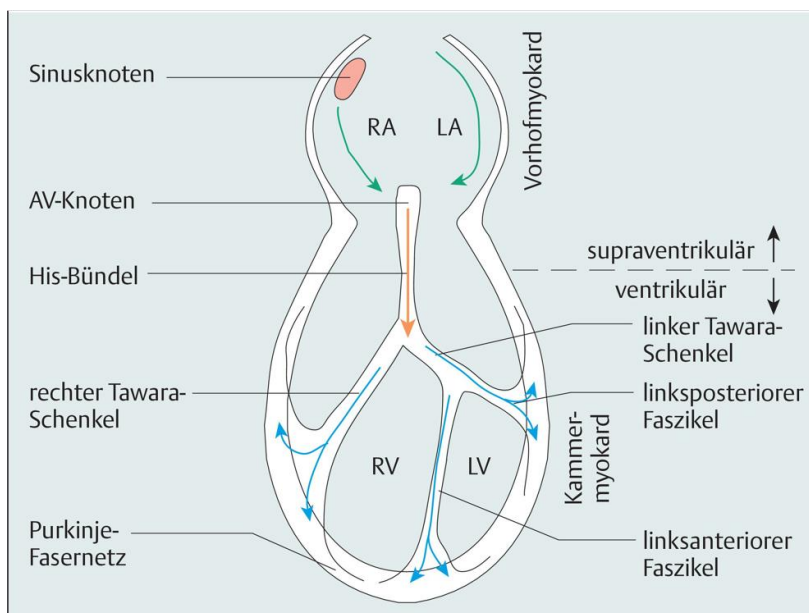


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung des Ablaufs von Reizbildung und Erregungsleitung (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.12).

Schon bereits im Zuge der Erregungsausbreitung auf die Kammern erfolgt die Erregungsrückbildung im Vorhofmyokard (intraatriale Erregungsrückbildung). Nachdem die Erregungsausbreitung im Kammermyokard zur Gänze vollzogen wurde, wird auch hier die Erregungsrückbildung eingeleitet (intraventrikuläre Erregungsrückbildung) (Schuster & Trappe, 2017).

Sowohl die Erregungsausbreitung als auch die Erregungsrückbildung sind im EKG Schritt für Schritt ersichtlich. Nur Rückschlüsse können hingegen auf die Sinusknotentätigkeit (Erregungsbildung im Sinusknoten) sowie auf die sinuatriale Erregungsüberleitung gemacht werden. Für eine genaue Beurteilung werden invasive elektrophysiologische Untersuchungstechniken benötigt. Auch die Erregungsrückbildung im Atrium ist nicht direkt im EKG sichtbar, da sie von der synchronen Erregungsausbreitung auf die Ventrikel überlagert wird (Schuster & Trappe, 2017).

Die unterschiedlichen, elektrischen Prozesse (Erregungsausbreitungen bzw. Erregungsrückbildungen) spiegeln sich im EKG in Form einzelner Zacken bzw. Wellen wieder, wie die nachfolgende Tabelle (Tab. 1) bzw. nachfolgende Abbildung (Abb. 3) zeigen (Schuster & Trappe, 2017).

Tab. 1: Zuordnung der verschiedenen EKG-Elemente zum Verlauf der Erregung

EKG-Element	Beschreibung
P-Welle	intraatriale Erregungsausbreitung
PQ-Zeit (oder AV-Intervall)	atrioventrikuläre Erregungsüberleitung
QRS-Komplex	intraventrikuläre Erregungsausbreitung
ST-Strecke	intraventrikuläre Erregungsrückbildung (Beginn der Erregungsrückbildung)
T-Welle	intraventrikuläre Erregungsrückbildung (Ende der Erregungsrückbildung)
QT-Zeit	Gesamte intraventrikuläre Erregungsdauer (diese ist abhängig von der Herzfrequenz). Die QT-Zeit wird zunächst als absolute QT-Zeit gemessen (Normalwert: bis maximal 550 msec) und in Relation zur Herzfrequenz als relative QT-Zeit in % der Norm angegeben.

Quelle: Schuster & Trappe, 2017, S. 13

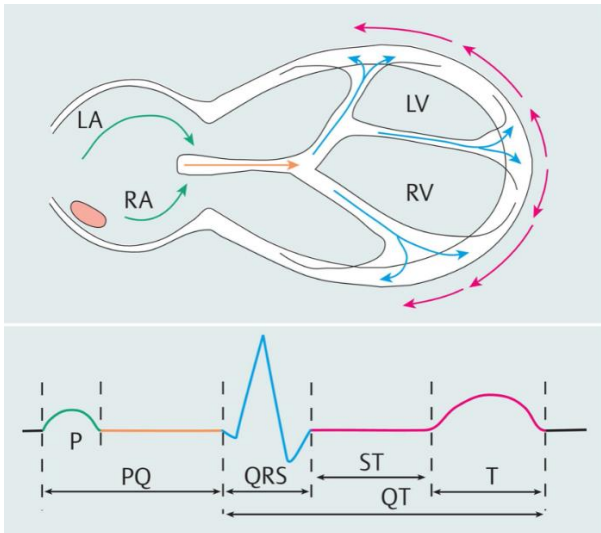


Abb. 3: Schematische Darstellung von Erregungsausbreitung und Erregungsrückbildung in Relation zu den „Zacken“ des Oberflächen-Elektrokardiogramms (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.13).

Die P-Welle stellt die Vorhofdepolarisation, der QRS-Komplex die Kammerdepolarisation dar. Positive Zacken werden als R-Zacken, negative hingegen als Q- bzw. S-Zacken definiert, wobei die Q-Zacke vor der R-Zacke bzw. die R-Zacke vor der S-Zacke liegt. Die einzelnen Komponenten werden mit Hilfe von Groß- bzw. Kleinbuchstaben definiert, wobei ein Großbuchstabe eine hohe Zacke bzw. ein Kleinbuchstabe eine niedrige Zacke kennzeichnet. In der folgenden Abbildung (Abb. 4) werden mögliche Konfigurationen des QRS-Komplexes dargestellt (Schuster & Trappe, 2017).

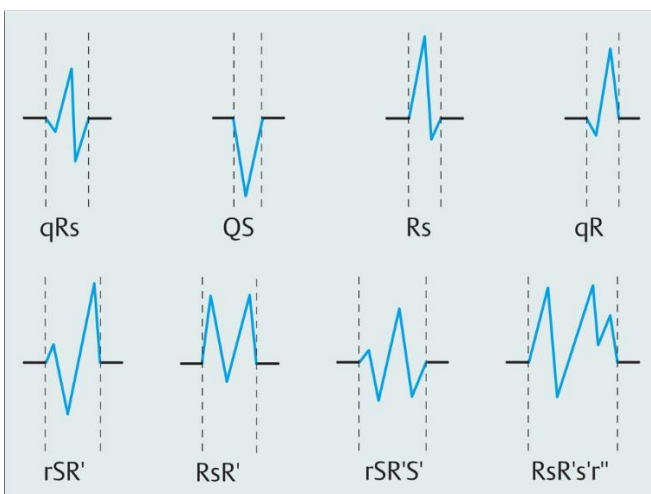


Abb. 4: Kennzeichnung einiger möglicher Konfigurationen des QRS-Komplexes (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.13).

Tritt innerhalb eines QRS-Komplexes eine weitere positive Zacke nach der S-Zacke auf, wird diese als R'-Zacke bezeichnet; eine weitere negative Zacke wird als S'-Zacke bzw. weitere Zacken dementsprechend als R''- bzw. S''-Zacken definiert (Schuster & Trappe, 2017).

Der Streckenabschnitt ST-T stellt die Kammerrepolarisation dar. Um die Tätigkeit in der Praxis zu erleichtern wird jedoch anstatt eines Ausdrucks wie beispielsweise „RsR's'r“ von einem „gespaltenen Kammer- bzw. QRS-Komplex“ gesprochen (Schuster & Trappe, 2017).

Ableitung des EKG

Mit Hilfe der auf der Haut platzierten Elektroden erfolgt die Ableitung des EKGs, wobei sogenannte bipolare Ableitungen Elektroden mit entgegengerichteter Polarität repräsentieren. Eine unipolare Ableitung wird durch eine positive Elektrode mit einem indifferenten Referenzpunkt erzeugt. Basierend auf dem Ausmaß der Ladungsdifferenz in der Vektorrichtung der entsprechenden Ableitung ergibt sich die Höhe der jeweiligen Zacken bzw. Wellen (Schuster & Trappe, 2017).

Das Standard-Oberflächen-EKG besteht aus 12 Ableitungen (6 Extremitätenableitungen: I, II, III, aVR, aVL, aVF); 6 Brustwandableitungen: V₁-V₆). Die Ableitungen der Extremitäten differenzieren sich in die Einthoven-Ableitungen I, II, III (werden bipolar abgeleitet) und die Goldberger-Ableitungen aVR, aVL, aVF (werden unipolar abgeleitet), wobei alle 6 Extremitätenableitungen die elektrische Aktivität des Herzens auf der Frontalebene des Körpers abbilden (Abb. 5a, b) (Schuster & Trappe, 2017).

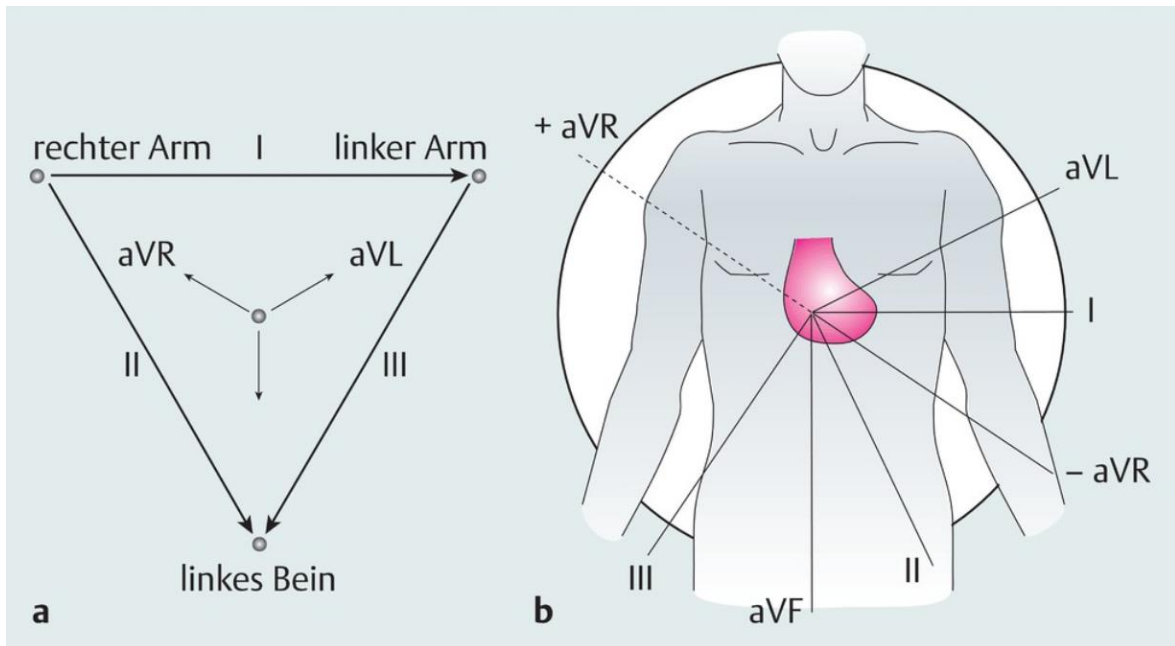


Abb. 5: a Elektrodenanlegepunkte und Vektorrichtungen der Extremitätenableitungen im Einthoven-Dreieck. b Projektion der Extremitätenableitungen auf die Frontalebene des Körpers (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.14).

Die Achse der Ableitung I verbindet die beiden Arme miteinander. Am rechten Arm befindet sich die negative Elektrode, am linken die positive, wodurch die elektrische Erregung von rechts nach links verläuft (Schuster & Trappe, 2017).

Die Achse der Ableitung II geht vom rechten Arm zum linken Bein. Am rechten Arm befindet sich die negative Elektrode, am linken Bein die positive, wodurch die elektrische Erregung vom rechten Arm zum linken Bein verläuft (Schuster & Trappe, 2017).

Die Achse der Ableitung III geht vom linken Arm zum linken Bein. Am linken Arm befindet sich die negative Elektrode, am linken Bein die positive, wodurch die elektrische Erregung vom linken Arm zum linken Bein verläuft (Schuster & Trappe, 2017).

Werden die beiden Armelektroden und die Elektrode vom linken Bein durch einen zentralen Punkt über einen Widerstand von $5000\ \Omega$ verbunden, so nimmt man an, dass die Potenzialsomme gleich null ist. Die positiven Elektroden können mit diesem indifferenten Referenzpunkt verbunden werden und man erhält die unipolaren Ableitungen aVR, aVL und aVF (Schuster & Trappe, 2017, S.15).

Durch die (unipolaren) Brustwandableitungen nach Wilson können hingegen die elektrischen Prozesse des Herzens in der Horizontalebene gezeigt werden (Abb. 6) (Schuster & Trappe, 2017).

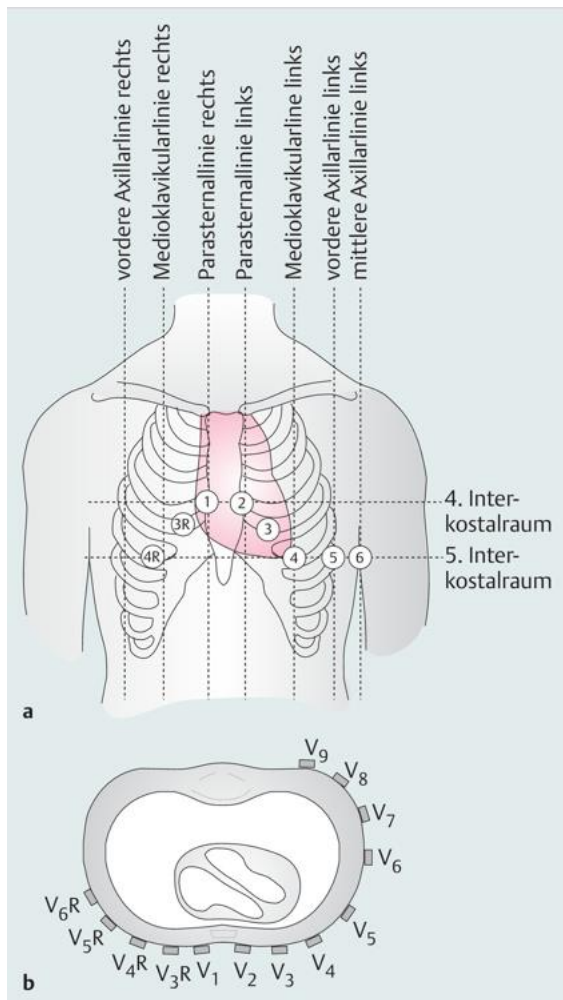


Abb. 6: a Projektion der Brustwandableitungen auf die Horizontalebene der Ventrikel. b Die Ableitungsstellen der unipolaren Ableitungen (V_1 – V_6 Wilson-Ableitungen, V_7 – V_9 sogenannte dorsale Brustwandableitungen, V_3R – V_6R rechtsthorakale Ableitungen) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.15).

Wie in der nachfolgenden Abbildung (Abb. 7) gezeigt wird werden die 4 Extremitätenelektroden nach dem „Ampel-Prinzip“ angelegt: rechter Arm: rote Elektrode; linker Arm: gelbe Elektrode; linkes Bein: grüne Elektrode; rechtes Bein: schwarze Elektrode (Schuster & Trappe, 2017).

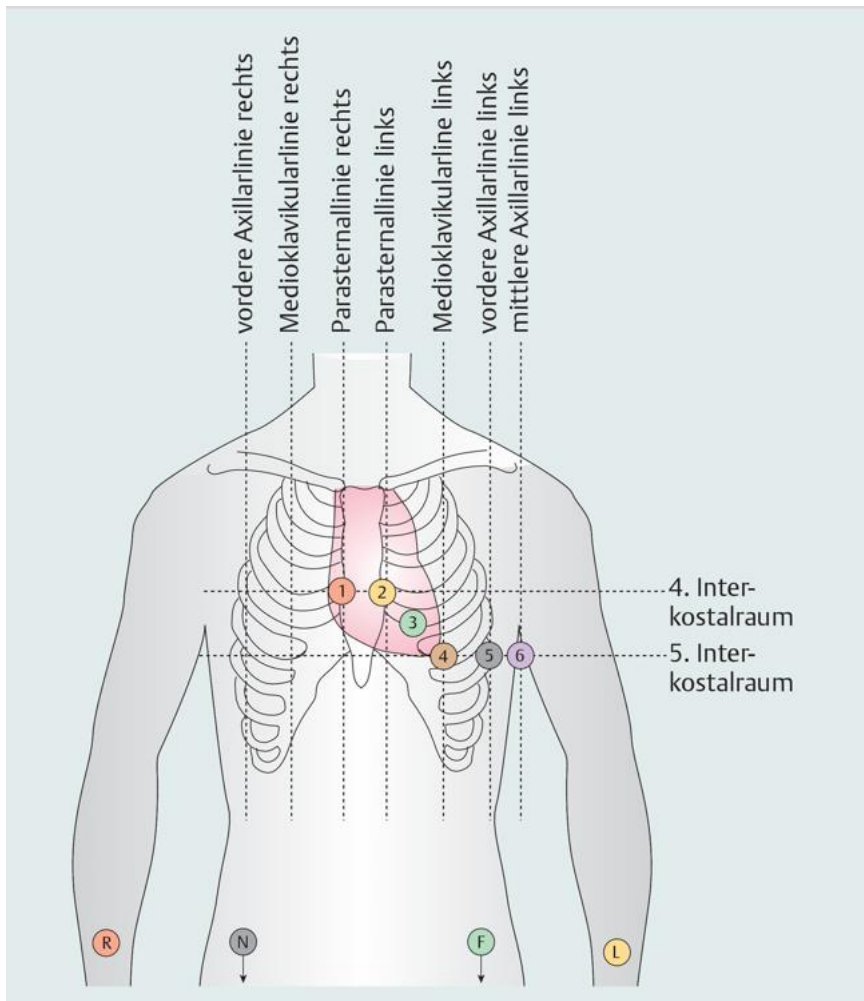


Abb. 7: Position der EKG-Elektroden (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.16).

Mit Hilfe von kalibriertem EKG-Papier werden Spannungsunterschiede in der Vertikalachse registriert, wobei ausgehend von der Null-Linie Ausschläge nach oben positive bzw. nach unten negative Zacken darstellen. Die Standard-Kalibrierung definiert 10 mm im EKG als 1 mV. Die Zeiten diverser EKG-Abschnitte werden auf der x-Achse gemessen. Der Papierschub hat standardmäßig eine Geschwindigkeit von 50 mm/s. Demnach stellt jedes kleine Quadrat am EKG-Papier (1 mm lang) ein Zeitintervall von 0,02s dar, wie in der folgenden Abbildung (Abb. 8) gezeigt (Schuster & Trappe, 2017).

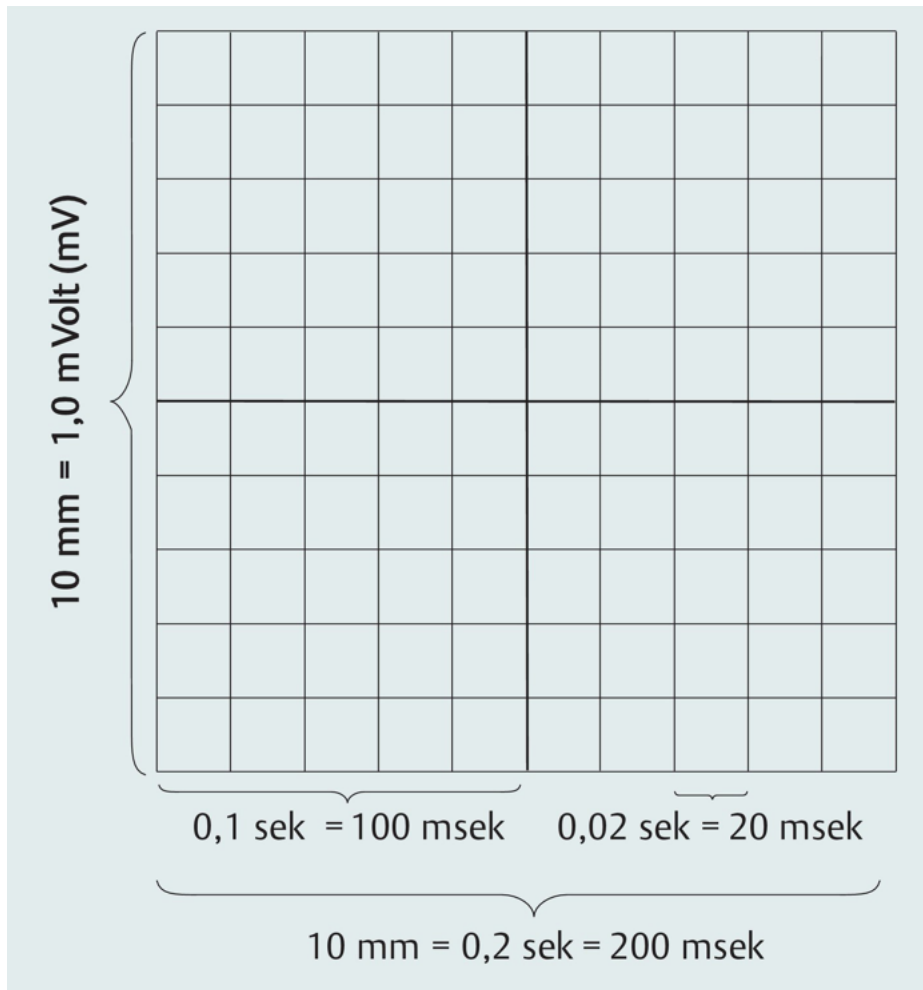


Abb. 8: Kalibrierung des EKG-Papiers bei 50 mm/sek Papiervorschub (stark vergrößerte Darstellung) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.16).

Die Brustwandableitungen werden in vordere (V_1 - V_2), mittlere (V_3 - V_4) sowie seitliche (V_5 - V_6) Ableitungen differenziert, um Pathologien im EKG anatomisch am Herz lokalisieren zu können (z.B. Ortsbestimmung eines Herzinfarkts). Daher ist es notwendig zu wissen, welche Anteile des Herzens in welchen einzelnen Ableitungen repräsentiert werden (Schuster & Trappe, 2017):

Die Ableitungen II, III und aVF stellen den inferioren (diaphragmalen) Teil der Herzhinterwand des linken Ventrikels (inferiore bzw. diaphragmale Ableitungen) dar (Abb. 5b). Normalerweise gibt es keine direkten Ableitungen für die posterioren Abschnitte der Hinterwand (Abb. 9) (Schuster & Trappe, 2017).

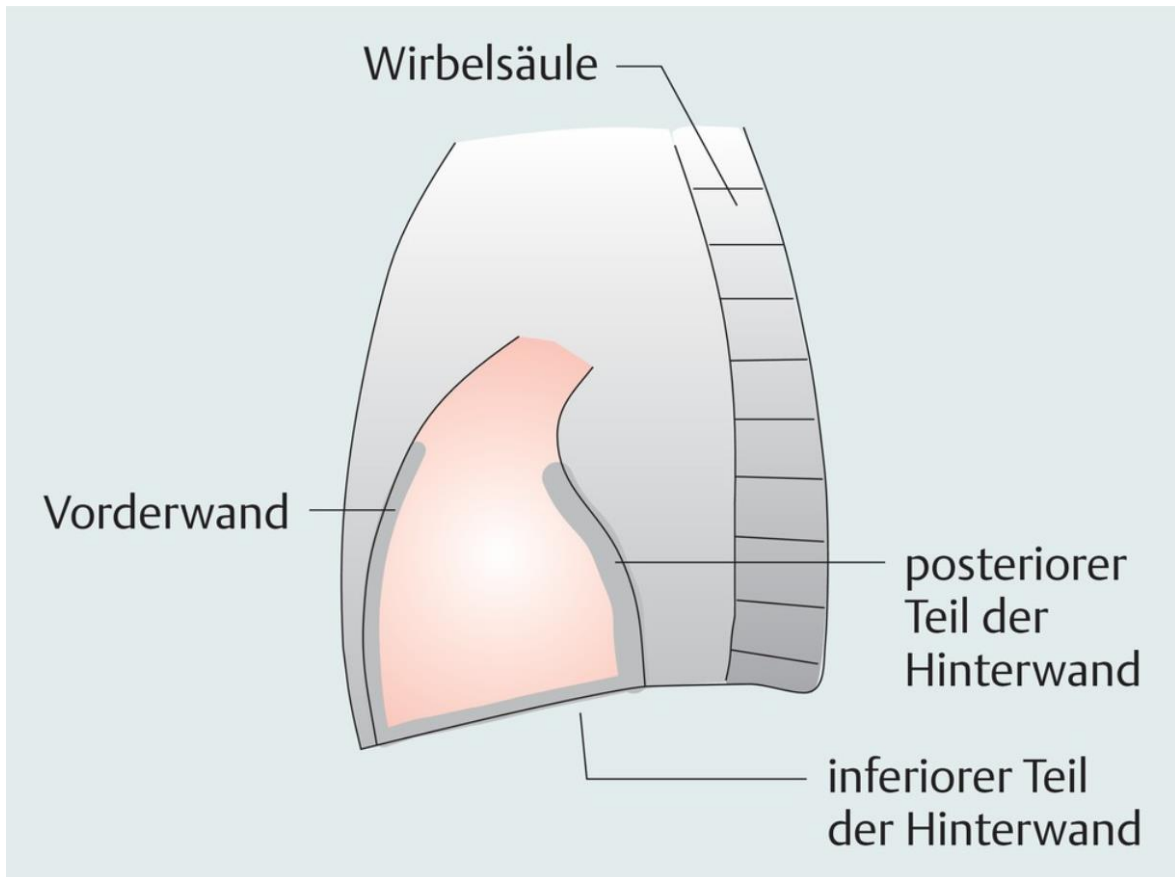


Abb. 9: Anatomische Skizze des Herzens in seitlicher Position: Unterscheidung von Vorderwand, posteriore und inferiore Anteil der Hinterwand (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.16).

Die Ableitung I stellt die Seitenwand des linken Ventrikels dar, aVL hingegen die hohe Seitenwand des linken Ventrikels (I und aVL= laterale Extremitätenableitungen) (Abb. 5b) (Schuster & Trappe, 2017).

Die beiden Ableitgruppen (diaphragmal: II, III und aVF; lateral: I und aVL) liegen beinahe gegenüber und können dementsprechend ein spiegelbildliches (reziprokes) EKG-Verhalten erzeugen. Für die Feststellung eines Myokardinfarkts ist dies wichtig (Schuster & Trappe, 2017): „Ein akuter inferiorer Infarkt mit ST-Strecken-Hebungen in II, III und aVF zeigt in den Ableitungen I und aVL reziproke (spiegelbildliche) ST-Strecken-Senkungen (Abb. 10).“ (Schuster & Trappe, 2017, S.16-17)

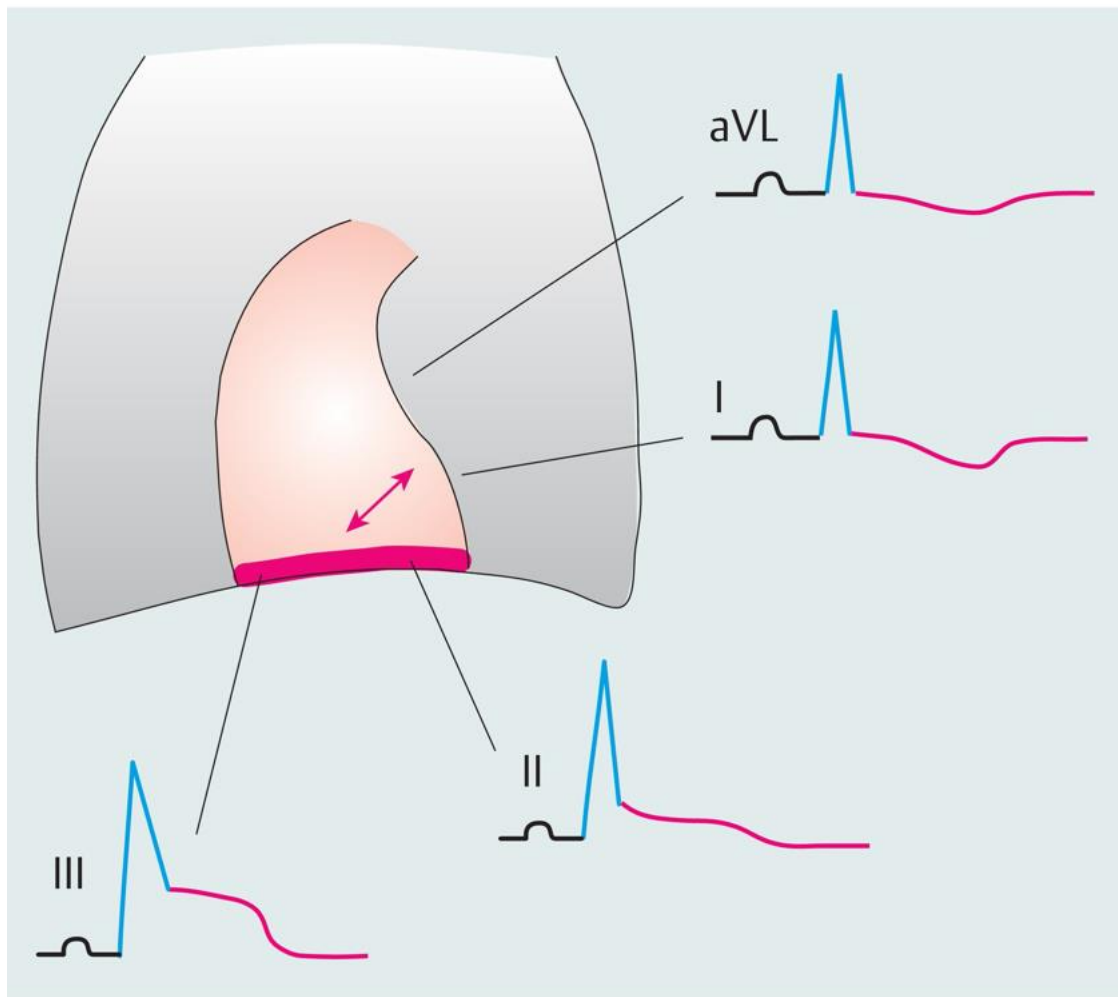


Abb. 10: Verhalten von Extremitätenableitungen in anteroposterioren Projektion des Herzens: Reziprokes Verhalten von ST-Strecken-Senkung (bzw. ST-Strecken-Hebung) in den Ableitungen II, III (und aVF) bzw. I und aVL. Der Pfeil weist auf das reziproke Verhalten von I/aVL gegenüber III hin (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.17).

Die Vorderwand der Ventrikel (vordere oder anteriore Brustwandableitungen bzw. rechtspräkordiale Ableitungen) wird in V₁ und V₂ dargestellt (Abb. 6). Soll jedoch Auskunft über Änderungen im rechten Ventrikel, v.a. in Hinblick auf einen rechtsventrikulären Infarkt bzw. über die Mitwirkung des rechten Ventrikels bei einem inferioren Infarkt gegeben werden, müssen die Ableitungen V_{3R} sowie V_{4R} zusätzlich abgeleitet werden. V₁ und V₂ sind für den rechten Ventrikel nur repräsentativ, wenn dieser pathologisch vergrößert oder überlastet ist. Grund dafür ist die Drehung des Herzens um eine annähernde Vertikalachse bei Rechtsbelastung, sodass der rechte Ventrikel weiter nach anterior kommt (Schuster & Trappe, 2017).

Die Vorderwand des Herzens auf Höhe des linken Ventrikels mit Ansatz des Kammerseptums wird in den mittleren Brustwand- bzw. anteroseptalen Ableitungen V₃ und V₄ dargestellt (Schuster & Trappe, 2017).

Die Seitenwand des linken Ventrikels auf Höhe der tiefen Seitenwand sowie der Herzspitze wird in den lateralen Brustwandableitungen V₅ und V₆ dargestellt (Schuster & Trappe, 2017).

Die Herzhinterwand auf Höhe des linken Ventrikels (posteriore Hinterwand) wird in den Ableitungen V₇, V₈ und V₉ dargestellt, welche allerdings aus technischen Gründen nur in Ausnahmefällen und demnach nicht direkt im Standard-12-Kanal-EKG (dorsal) abgeleitet werden (Schuster & Trappe, 2017).

In Bezug auf die Infarkt Diagnostik ist es wichtig zu wissen, dass sich (in der Horizontalebene) die vorderen Brustwandableitungen V₁ und V₂ reziprok zu den dorsalen Brustwandableitungen V₇, V₈ und V₉ verhalten (Schuster & Trappe, 2017). „Ein akuter Infarkt an der posterioren Hinterwand (ST-Strecken-Hebung in V₇ und V₈) zeigt sich spiegelbildlich als ST-Strecken-Senkung in den routinemäßig aufgezeichneten vorderen Brustwandableitungen V₁ und V₂ (Abb. 11).“ (Schuster & Trappe, 2017, S.17-18)

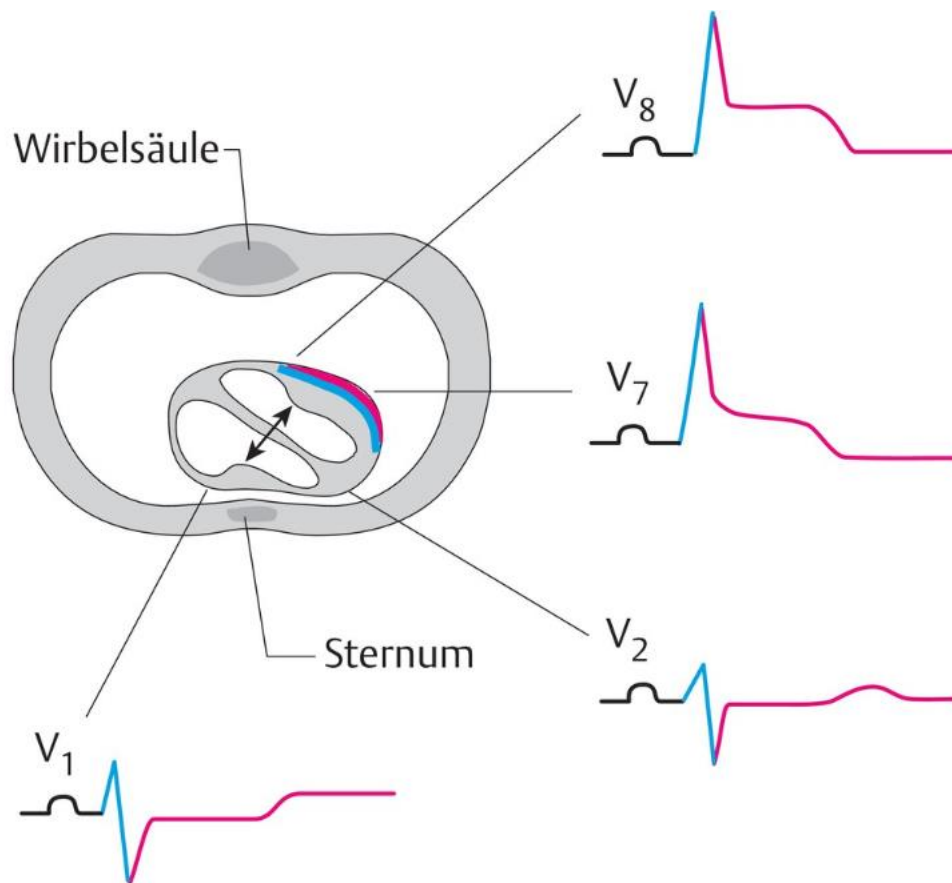


Abb. 11: Verhalten der vorderen (V_1 und V_2) und der hinteren (V_7 und V_8) Brustwandableitungen: Reziprokes Verhalten von ST-Strecken-Hebung und ST-Strecken-Senkung (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.17).

In der Praxis wird so die Beteiligung der posterioren Hinterwand an einem Hinterwandinfarkt bzw. ein rein posteriorer Infarkt (Infarkt auf Höhe der posterioren Hinterwand) diagnostiziert (Schuster & Trappe, 2017).

Bedeutung erhobener EKG-Parameter

QT-Zeit

Die QT-Zeit stellt die intraventrikuläre Erregungsdauer dar und gilt bis maximal 550 Millisekunden (ms) als normal (Schuster & Trappe, 2017).

Sie ist von der Herzfrequenz abhängig und wird auf Grund dessen meist als relative QT-Zeit in % der Norm (80-120%) angegeben. Zur Korrektur der Abhängigkeit der QT-Zeit von der Herzfrequenz (QT interval corrected for heart rate – QTc) hat sich die Bazett-Formel etabliert (Schuster & Trappe, 2017):

$$QT_c = \frac{QT(\text{sek})}{\sqrt{RR\text{-Intervall (sek)}}}$$

Bei Männern ist der Normwert für QTc 0,39s ($\pm 15\%$); bei Frauen 0,44s ($\pm 15\%$) (Schuster & Trappe, 2017).

P-Welle

Die P-Welle stellt die Erregungsausbreitung (intraatriale Erregungsleitung) in den Vorhöfen dar. Im Normalfall ist diese halbrund, glatt, konvexbogig positiv mit einer Dauer von 50-100 ms. Zusätzlich gibt es zwei physiologische Formen (Schuster & Trappe, 2017):

Eine negative P-Welle in V_1 bzw. in einer Extremitätenableitung, in welcher der zugehörige QRS-Komplex negativ ist (konkordant negatives P, Abb. 12). Dies kommt zumeist in der Ableitung aVR vor (Schuster & Trappe, 2017).

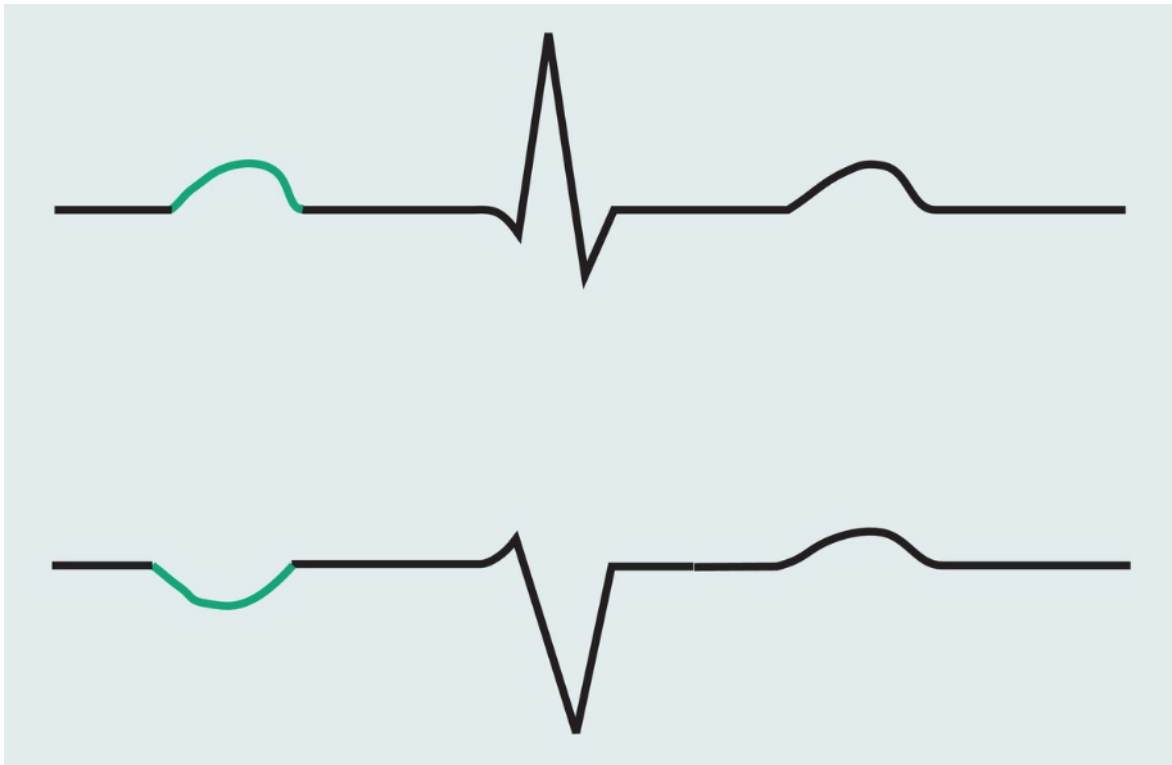


Abb. 12: Darstellung normaler Befunde der Vorhoferregung. Die P-Welle ist in der Regel positiv (obere EKG-Ableitung), kann aber physiologisch in V_1 negativ sein oder konkordant negativ, wenn der QRS-Komplex in der entsprechenden Extremitätenableitung ebenfalls negativ ist (untere EKG-Ableitung) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.18).

PQ-Zeit

Die PQ-Zeit (bzw. das AV-Intervall) spiegelt die atrioventrikuläre Überleitung bzw. die Dauer vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn des QRS-Komplexes wieder und beträgt im Normalfall 120-200 ms. Physiologisch ist auch die Frequenzabhängigkeit der PQ-Zeit. Je niedriger der Puls ist, desto länger dauert das PQ-Intervall. Eine verlängerte PQ-Zeit (über 200 ms) gilt als pathologisch und wird, je nach Schweregrad, als AV-Block ersten, zweiten oder dritte Grades definiert (Schuster & Trappe, 2017).

Eine verkürzte PQ-Zeit (unter 120 ms) gilt auch als pathologisch und kann mehrere Ursachen wie z.B. einen schnell leitenden AV-Knoten oder ein abnormales Erregungsleitungsbündel haben (Schuster & Trappe, 2017).

Sokolow-Lyon-Index

Der Sokolow-Lyon-Index gilt als der unter Ärztinnen und Ärzten am weitest verbreitete Index für Bluthochdruck und ist folgendermaßen definiert (Courand, Gosse & Lantelme, 2015):

$$SV_1 \text{ (S-Zacke in } V_1) + RV_5 \text{ (R-Zacke in } V_5) > 3,5\text{mV}$$

Trotzdem ist seine Sensitivität relativ gering (ca. 30%) und es besteht keine Korrelation mit dem Index der linksventrikulären Masse (bei adipösen Patientinnen bzw. Patienten) (Courand, Gosse & Lantelme, 2015).

Das 12-Kanal-EKG gilt als kosten- und zeiteffektive Alternative im Vergleich zur Echokardiographie bzw. zur Magnetresonanztomographie, um eine linksventrikuläre Hypertrophie festzustellen. Im Falle arterieller Hypertonie bei Linksherzhypertrophie kommt vor allem das 12-Kanal-EKG zum Einsatz. Zur Beurteilung dieses Erscheinungsbildes wurde 1949 ein Index, der Sokolow-Lyon-Index entwickelt, welcher sich aus der Summe der Amplituden der S-Zacke in V_1 und der R-Zacke in V_5 oder in V_6 (je nachdem welche größer ist) bildet. Derzeit gilt ein Sokolow- Lyon-Index mit einem Grenzwert von 3.5 mV unter Hausärztinnen bzw. Hausärzten (nicht Kardiologinnen bzw. Kardiologen) als Indikator für linksventrikuläre Hypertrophie (Greiser et al., 2015).

RV-Index (Right Ventricular Index)

Der RV-Index ergibt sich aus den jeweils invasiv gemessenen hämodynamischen Parametern rechter Vorhofdruck (Right Atrial Pressure – RAP), Lungengefäßwiderstand (Pulmonary Vascular Resistance – PVR) und gemischtvenöse Sauerstoffsättigung (Mixed Venous Oxygen Saturation – SvO2) durch Anwendung folgender Formel: $RAP \times PVR/SvO_2$ (Baaske et al., 2018).

Wird der RV-Index mittels diesen 3 Variablen (jeweils mit Hilfe eines Rechtsherzkatheters messbar) berechnet, gilt dieser (neben dem Lebensalter und klinisch relevanten Parametern) als einziger, unabhängiger Risikofaktor für die Mortalitätswahrscheinlichkeit und ermöglicht somit eine individuelle Risikostratifikation (Baaske et al., 2018).

Der empfohlene Cut-Off-Wert des RV-Index mit 91 zeigt, dass Personen mit einem RV-Index über 91 ein signifikant ($p = 0.00092$) erhöhtes Mortalitätsrisiko (>2.5 -fach) aufweisen (Baaske et al., 2018).

QRS-Achse (Grad)

Die QRS-Achse gibt als Hauptvektor die Richtung der intraventrikulären Erregungsausbreitung in der Frontalebene an. Die Richtung dieses Vektors bzw. die Lage der QRS-Achse bestimmen den Lagetyp (elektrische Herzachse) mit Hilfe der Extremitätenableitungen I, II, III, aVR, aVL und aVF wie in der folgenden Abbildung (Abb. 13) gezeigt (Schuster & Trappe, 2017).

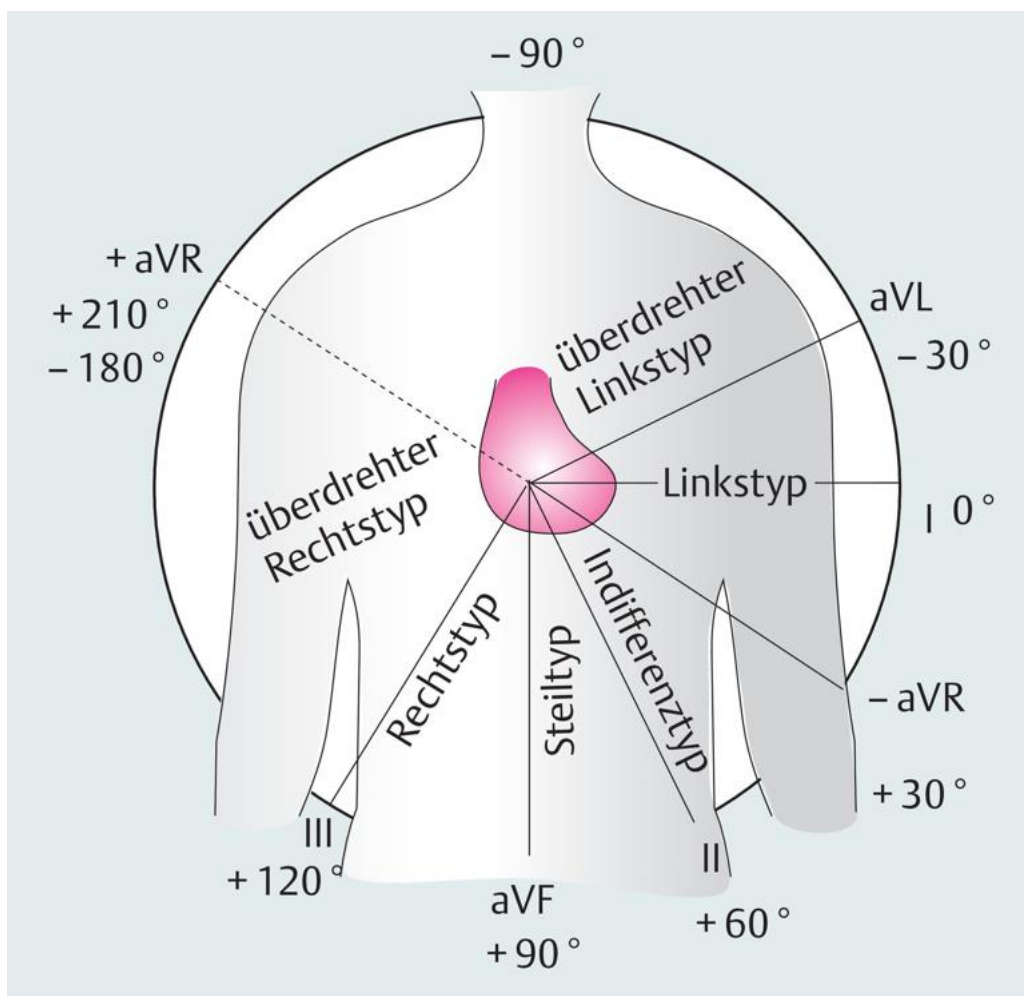


Abb. 13: Darstellung der Lagetypen im Oberflächen-Elektrokardiogramm mit Zuordnung der Winkelgrade (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.26).

Die elektrische Herzachse kann nicht immer der anatomischen Herzachse und somit der Lage des Herzens im Thorax gleichgesetzt werden, wenn gleich morphologische bzw. topographische Veränderungen (z.B. Narben, Herzmuskelhypertrophie oder Thoraxdeformation) den Lagetyp beeinflussen können (Schuster & Trappe, 2017).

Kommt es zu einer Störung der Erregungsausbreitung (z.B. bei Schenkelblock oder Faszikelblock) ändert sich die elektrische Herzachse. Auf Grund dessen ist kein Lagetyp von Grund auf physiologisch. Pathologisch (beim Erwachsenen) sind hingegen immer der überdrehte Rechtstyp und der Rechtstyp (Schuster & Trappe, 2017).

Befindet sich die elektrische Herzachse z.B. zw. Ableitung II ($+60^\circ$) und aVF ($+90^\circ$), liegt ein „Steiltyp“ („Steillagetyp“) vor. Alle anderen möglichen Positionen der elektrischen Herzachse werden dementsprechend kategorisiert. Das Feld „Linkstyp“ ist im Vergleich zu den anderen relativ groß und wird deshalb noch weiter in Linkstyp ($-aVR$ bis I: $+30$ bis 0°) und ausgeprägten Linkstyp (I bis aVL: 0° bis -30°) gegliedert. Der Bereich zw. aVL und $+aVR$ wird als überdrehter Linkstyp bezeichnet (Schuster & Trappe, 2017).

RBBB – Right Bundle Branch Block (RSB – Rechtsschenkelblock), LBBB – Left Bundle Branch Block (LSB – Linksschenkelblock)

Als Schenkelblock wird eine Störung der Erregungsausbreitung in den Kammerleitungsschenkeln (Tawara-Schenkel) definiert wie die folgende Abbildung (Abb. 14) demonstriert (Schuster & Trappe, 2017).

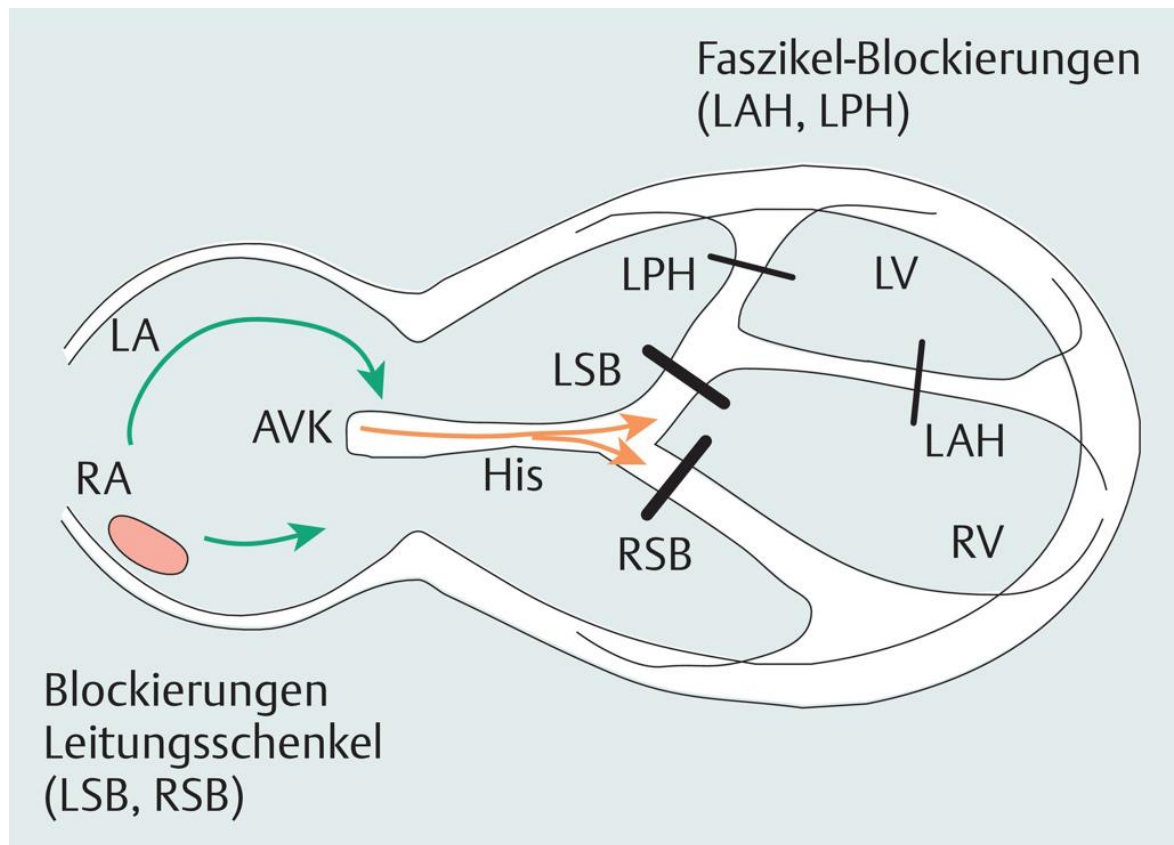


Abb. 14: Schematische Darstellung der Lokalisationen von intraventrikulären Erregungsausbreitungsstörungen. RSB: Unterbrechung des rechten Tawara-Schenkels (kompletter Rechtsschenkelblock); LSB: Unterbrechung des linken Tawara-Schenkels (kompletter Linksschenkelblock); Linksanterioren Hemiblock (LAH), Linksposterioren Hemiblock (LPH): Unterbrechung des linksanterioren (LAH) oder linksposterioren (LPH) Faszikels (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.52).

Ist die Erregungsausbreitung auf Höhe der Tawara-Schenkel zur Gänze unterbrochen wird dies kompletter Schenkelblock genannt (Schuster & Trappe, 2017).

Liegen die folgenden Kriterien vor wird das Bild im EKG (Abb. 15) als Schenkelblock bezeichnet (Schuster & Trappe, 2017):

- Der QRS-Komplex ist über die Norm verbreitert: ≥ 120 msek (in der Regel ≥ 140 – 160 msek).
- Der QRS-Komplex ist typisch deformiert: „Schenkelblock“-Konfiguration (sogenannte M-förmige Deformierung). Dadurch ist die endgültige Negativitätsbewegung erheblich verspätet, was auch zur Definition eines Schenkelblocks herangezogen wird.

- Aufgrund der pathologischen Depolarisation der Kammern ist auch die Repolarisation gestört, d.h. zum Bild eines kompletten Schenkelblocks gehört die Erregungsrückbildungsstörung (deszendierende ST-Strecke, negative und abgeflachte T-Welle)... Dies ist daher nicht Zeichen einer etwaigen Ischämie (Schuster & Trappe, 2017, S.52).

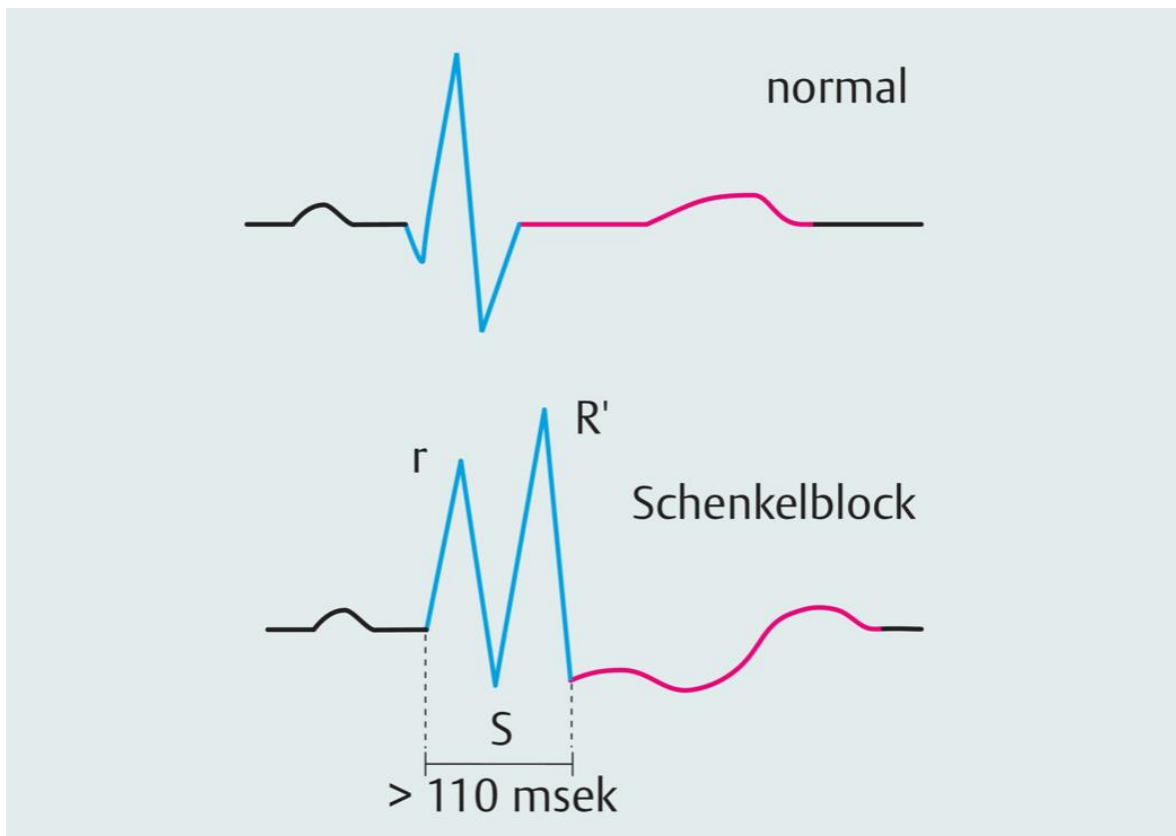


Abb. 15: Schematische Darstellung der charakteristischen elektrokardiografischen Befunde bei komplettem Schenkelblockbild (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.52).

Die Differenzierung, ob die Erregungsausbreitung im rechten oder im linken Tawara-Schenkel gestört ist (kompletter RBBB bzw. kompletter LBBB), zeigen jene Ableitungen mit typisch M-förmiger Deformierung des QRS-Komplexes (Schuster & Trappe, 2017).

Kompletter RBBB

Unter einem kompletten RBBB wird eine komplette Unterbrechung der Leitungsbahn im rechten Schenkel verstanden (Schuster & Trappe, 2017).

Ist der QRS-Komplex verbreitert (≥ 120 ms) und tritt die M-förmige Deformierung in V_1 und V_2 auf, wird dies kompletter RBBB genannt (Abb. 16) (Schuster & Trappe, 2017).

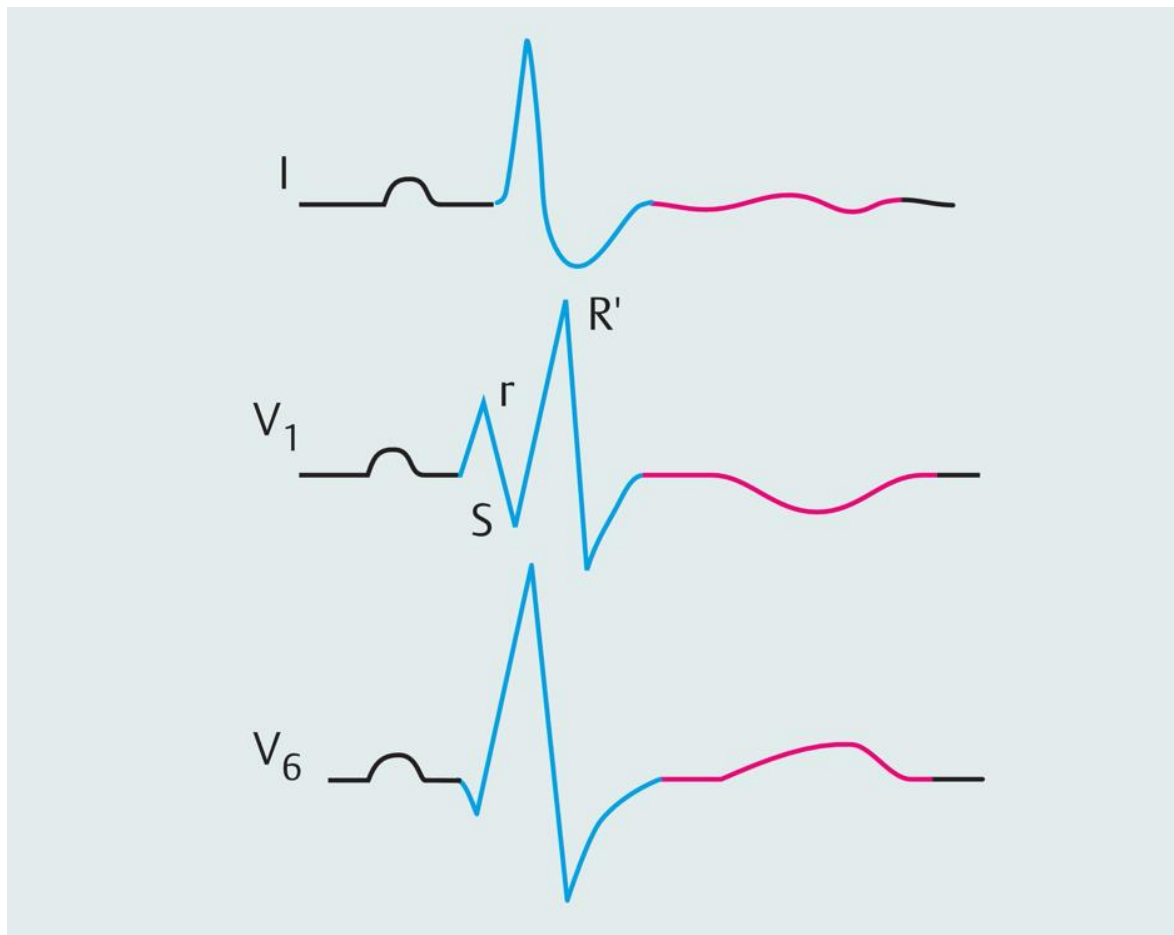


Abb. 16: Charakteristische Befunde im Elektrokardiogramm bei komplettem Rechtsschenkelblock (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.53).

Die Ableitungen der Extremitäten zeigen dies reziprok in Form eines breiten S in I und aVL (Schuster & Trappe, 2017).

Kompletter LBBB

Ein kompletter LBBB ist durch eine komplette Unterbrechung der Leitungsbahn im linken Schenkel definiert (Schuster & Trappe, 2017).

Ist der QRS-Komplex verbreitert (≥ 120 ms) und tritt die M-förmige Deformierung in V_5 und V_6 , I und aVL auf, wird dies kompletter LBBB genannt (Abb. 17) (Schuster & Trappe, 2017).

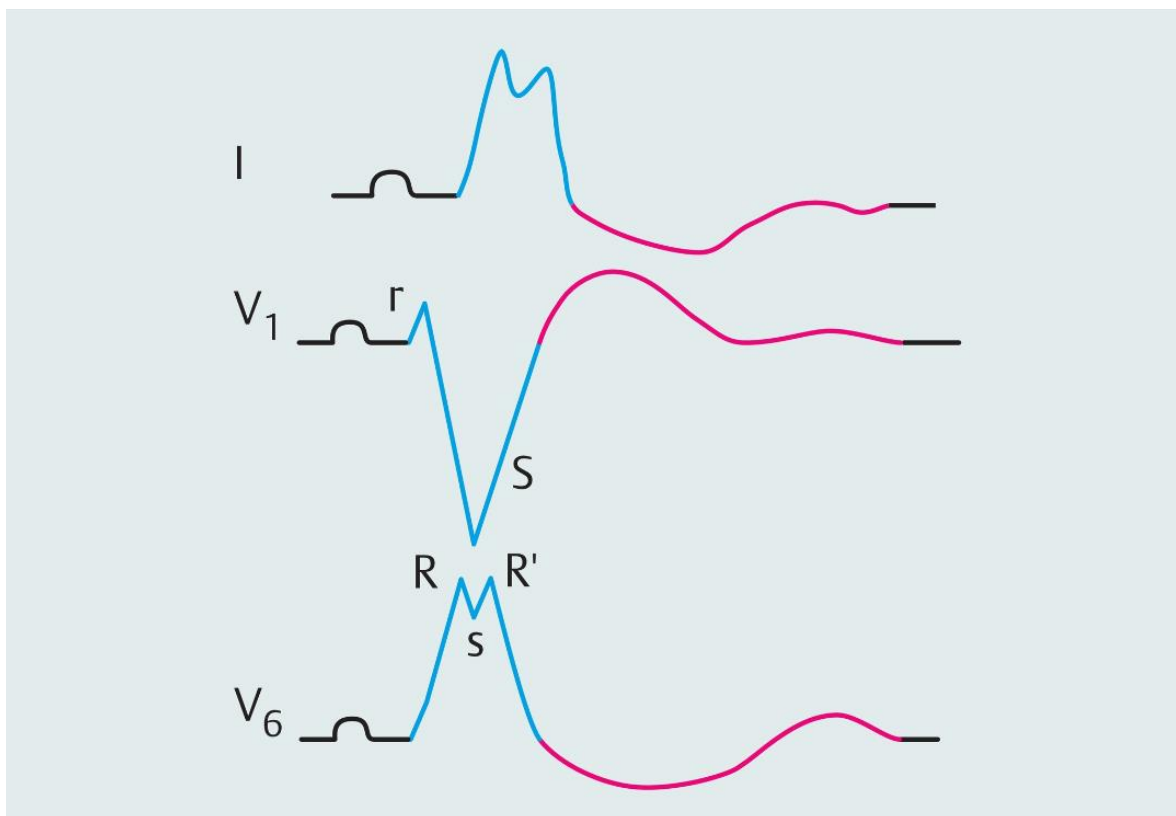


Abb. 17: Charakteristische Befunde im Elektrokardiogramm bei komplettem Linksschenkelblock (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.53).

Inkompletter Block

Der linke Leitungsschenkel spaltet sich in einen vorderen Teil (linksanterioren Faszikel) und einen linken hinteren Teil (linksposterioren Faszikel). Kommt es zu einer Leitungsunterbrechung in einem der beiden Teile wird dies (mono-) faszikulärer Block oder Hemiblock genannt. Demnach kann ein LAH bzw. ein LPH entstehen (Schuster & Trappe, 2017).

Kommt es zu einer zeitgleichen Leitungsunterbrechung beider Faszikel folgt ein kompletter LBBB, welcher in dieser Konstellation als bifaszikulärer Linksschenkelblock = LAH und LPH bezeichnet wird (Abb. 18) (Schuster & Trappe, 2017).

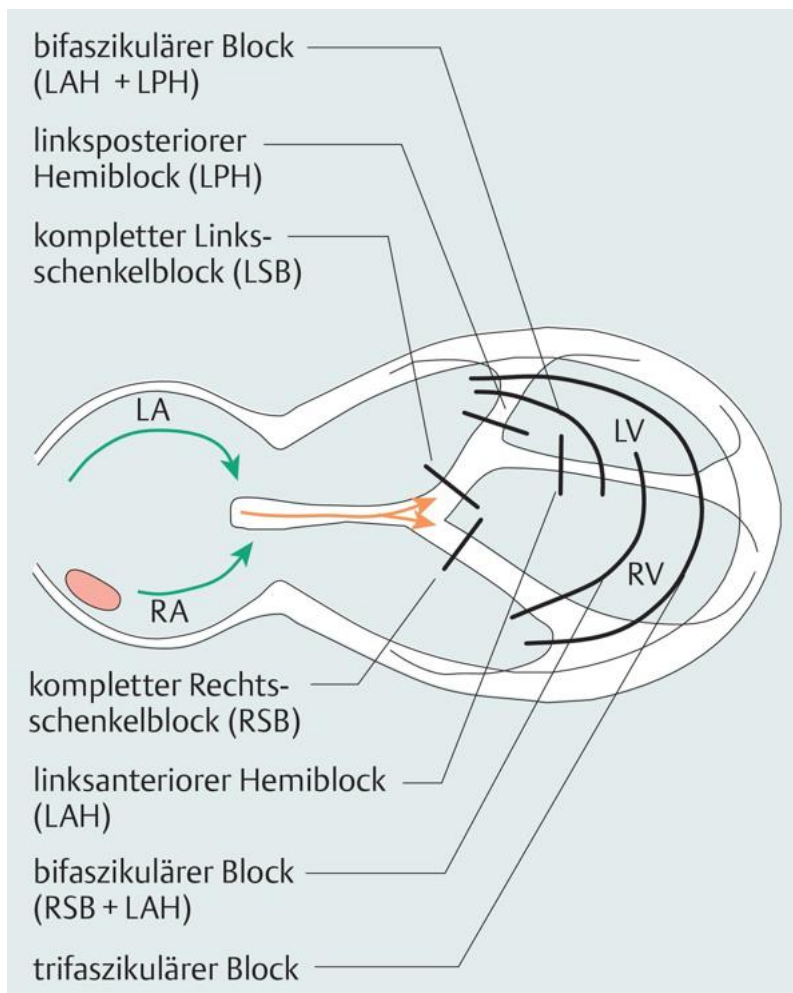


Abb. 18: Charakterisierung kompletter und faszikulärer Schenkelblockierungen (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.55).

Als bifaszikulärer Block, z.B. RBBB und LAH wird zudem die Blockierung des rechten Leitungsschenkel (RBBB) und die einer der linken Faszikel bezeichnet (Abb. 18) (Schuster & Trappe, 2017).

Linksanteriorer Hemiblock

Typisch für den linksanterioren Hemiblock sind tiefe S-Zacken in V₅ und V₆, ein langsamer Anstieg der R-Zacken in den Brustwandableitungen und eine kleine Q-Zacke in den Ableitungen I und aVL (Abb. 19) (Schuster & Trappe, 2017).

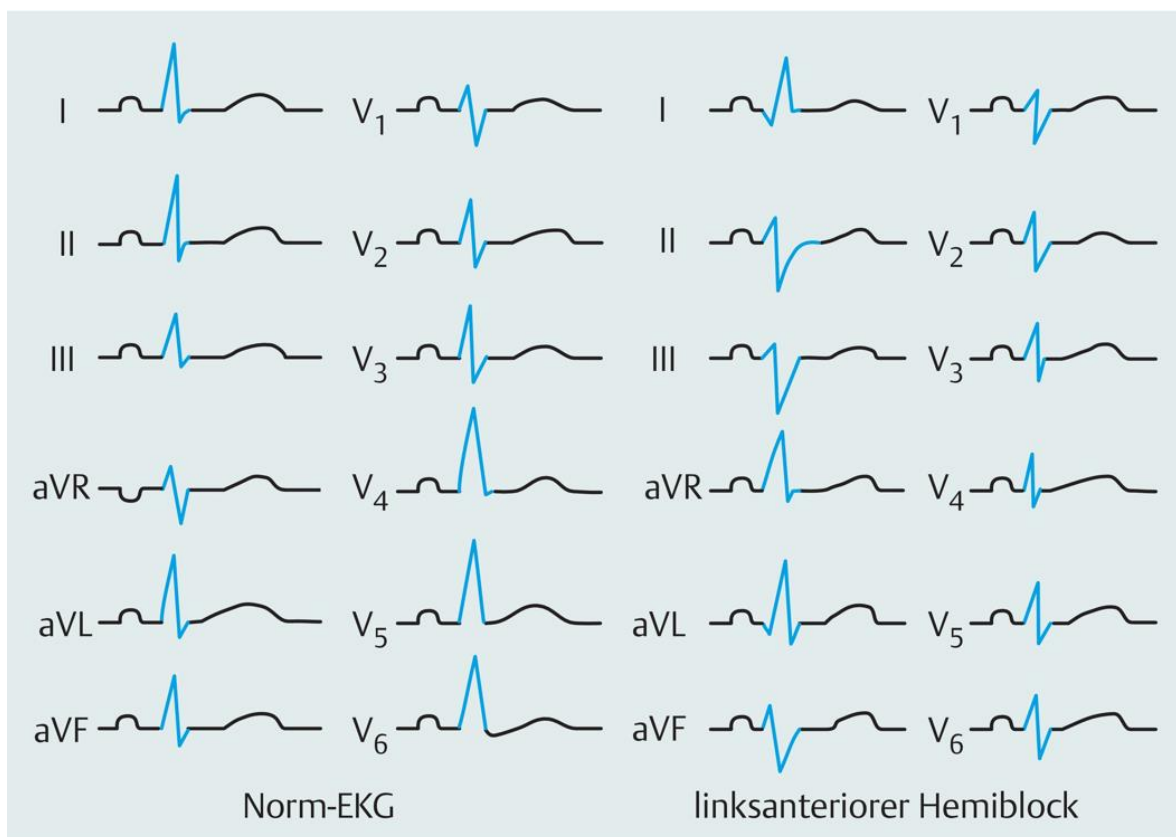


Abb. 19: Elektrokardiografische Befunde bei linksanteriorem Hemiblock im Vergleich zum Norm-EKG (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.56).

Linksposteriorer Hemiblock

Typisch für den linksposterioren Hemiblock sind kleine Q-Zacken in II, III und aVF sowie ein langsamer Anstieg der R-Zacken in den Brustwandableitungen (Abb. 20) (Schuster & Trappe, 2017).

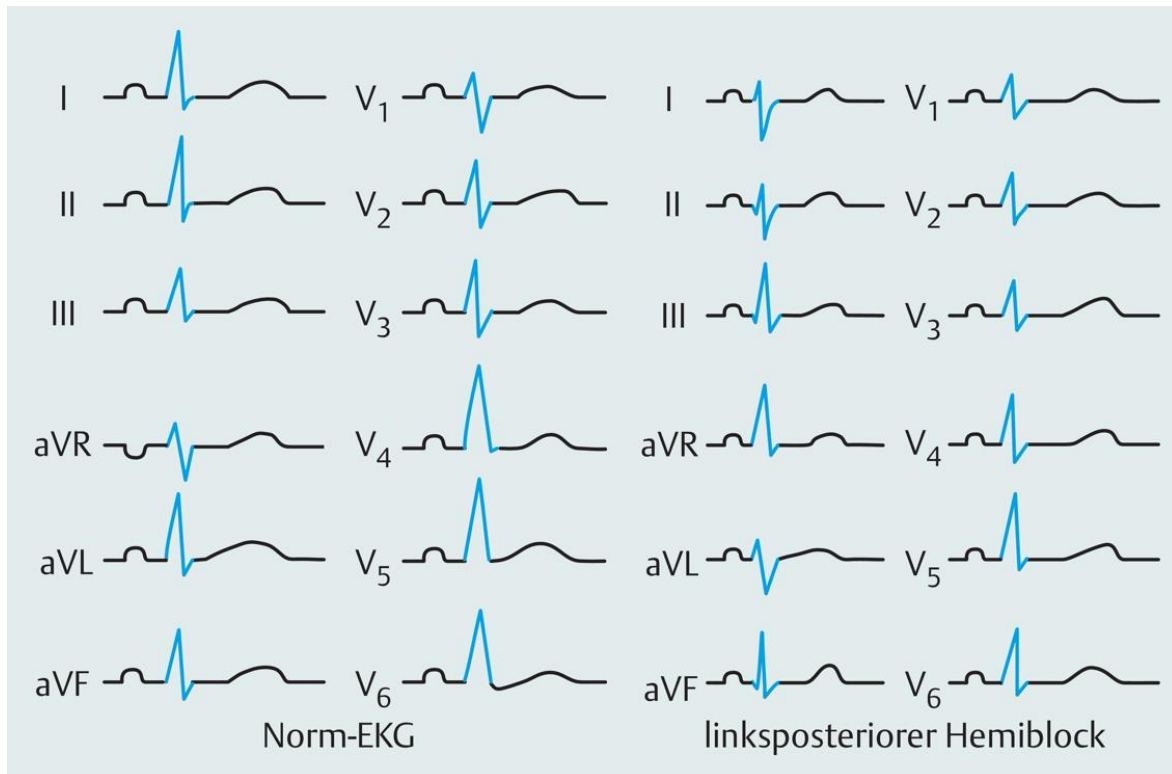


Abb. 20: Elektrokardiografische Befunde bei linksposteriorem Hemiblock im Vergleich zum Norm-EKG (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.56).

Frühe Repolarisation inkl. Messwerte (ST-Hebung, J-Punkt)

Unter der „frühen Repolarisation“ („frühes Repolarisationssyndrom“) wird die Anhebung des J-Punktes bis maximal 0,4 mV in den Brustwandableitungen V₂–V₄ mit ST-Strecken-Hebung verstanden. Während der Ausübung von körperlicher Belastung normalisiert sich die ST-Strecke. Die frühe Repolarisation gilt bei noch nicht ausgewachsenen Personen als physiologisch (Schuster & Trappe, 2017).

Herzrhythmus & Herzfrequenz

Die EKG-Befundung beginnt mit der Rhythmusbeurteilung, ob ein Sinusrhythmus vorliegt oder nicht. Im Fall, dass die folgenden fünf Fragen bejaht werden, liegt ein reiner Sinusrhythmus vor (Schuster & Trappe, 2017):

- „Sind P-Wellen abgrenzbar?
- Wenn ja, haben sie annähernd einen normalen P-Wellen-Vektor und eine normale Konfiguration?
- Sind die Intervalle zwischen den P-Wellen regelmäßig?
- Sind alle P-Wellen von einem QRS-Komplex gefolgt?
- Ist das PQ-Intervall normal?“ (Schuster & Trappe, 2017, S.34)

Liegt dessen Frequenz zusätzlich in der Norm (50-100 Herzschläge/ Minute (Min.)) wird von einem regulären Sinusrhythmus gesprochen. Sobald eine Frage verneint werden muss liegt ein abnormaler Rhythmus vor (Schuster & Trappe, 2017).

Die Herzfrequenz (Herzaktionen/ Min.) kann im EKG gemessen werden, wobei die Frequenz der Vorhöfe und der Kammern separat ermittelt werden kann. Liegt ein Sinusrhythmus vor, wird die Frequenz von den Vorhöfen auf die Kammern exakt übergeleitet und es liegt somit nur eine Grundfrequenz vor. Liegt kein Sinusrhythmus vor, müsste sowohl die Frequenz der Vorhöfe als auch der Kammern gesondert gemessen und anschließend befundet werden. Wird die Herzfrequenz mittels eines EKG-Lineals („Kardiometer“) bestimmt, wird die Spitze einer R-Zacke markiert und die Frequenz

unterhalb der anschließenden, zweiten bzw. dritten R-Zacke (abh. vom Linealtyp) entnommen (Abb. 21) (Schuster & Trappe, 2017).

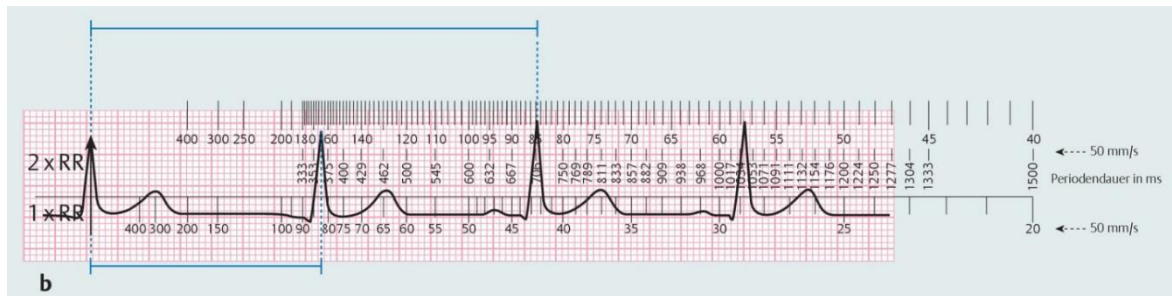


Abb. 21: EKG-Lineal: Zur Bestimmung der Herzfrequenz (HF) legt man die Pfeilspitze der dargestellten Skala an eine R-Zacke an und misst dann den Abstand zur nächsten (1xRR, untere Teilskala) bzw. übernächsten R-Zacke (2xRR, obere Teilskala). Im vorliegenden Fall beträgt die HF 85/Min. Beachte: diese Skala eignet sich nur für EKGs mit einer Schreibgeschwindigkeit von 50 mm/sek (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.144)!

Da bei Vorhofflimmern oder Vorhofflattern im Normalfall keine regelmäßigen RR-Intervalle zu verzeichnen sind, ist die Determinierung der Herzfrequenz komplizierter. In diesem Fall wäre die Verwendung eines 30-Zentimeter (cm)-langen EKG-Streifens mit einer Schreibdauer von 6s eine gute Option: Zur Schätzung der durchschnittlichen Frequenz werden die Kammerkomplexe in diesem EKG-Streifen gezählt und mit dem Faktor 10 multipliziert (Schuster & Trappe, 2017).

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Herzfrequenz bei regelmäßigem Herzrhythmus (und einer Papiergeschwindigkeit von 50 mm/s) ergibt sich aus der Division der Zahl 300 durch die Anzahl der großen Quadrate, welche sich innerhalb der R-Zacken befinden. Liegen beispielsweise innerhalb beider R-Zacken 4 große Quadrate, liegt die Herzfrequenz bei 75 Schlägen pro Min. ($300/4 = 75$). Beträgt die Schreibgeschwindigkeit 25 mm/s wird die Summe der großen Quadrate innerhalb beider R-Zacken gebildet und anschließend wird der Faktor 150 durch die Anzahl der großen Quadrate dividiert (z.B. im Falle 2,5 großer Quadrate: $150/2,5 = 60$ Schläge/ Min.) (Abb. 22.1; Abb. 23.2) (Schuster & Trappe, 2017).

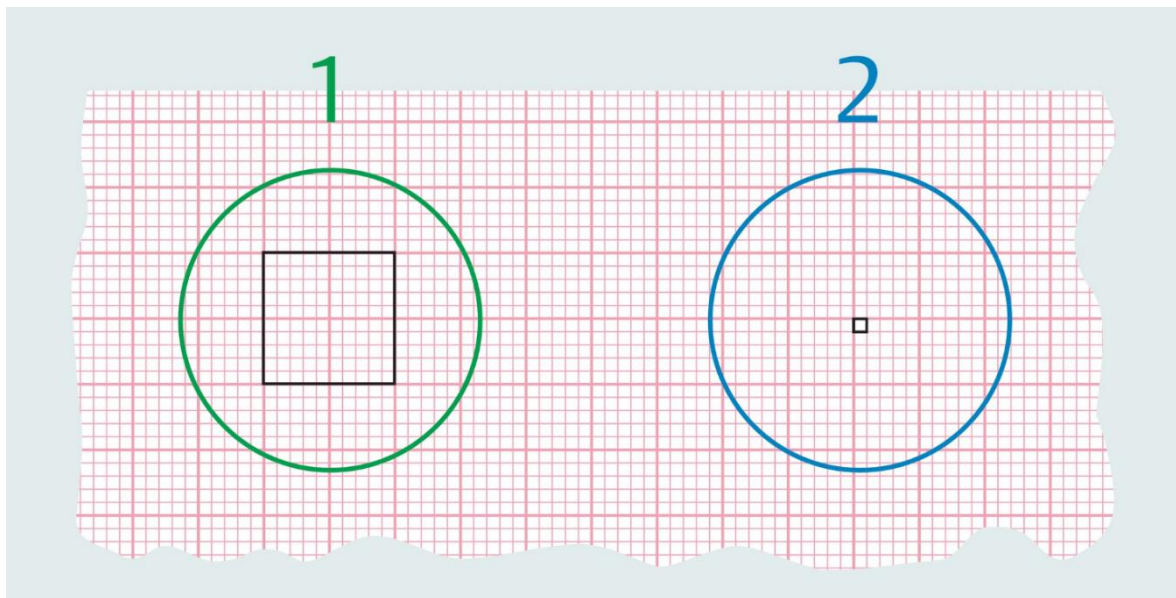


Abb. 22.1: Millimeterpapier. 1 Großes Kästchen (Kantenbreite = 1 cm). 2 Kleines Kästchen (20 ms bei Schreibgeschwindigkeit von 50 mm/s) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.35).

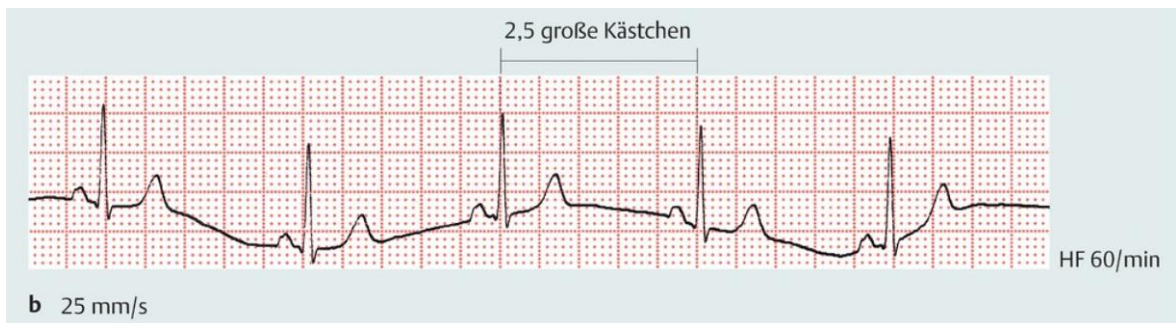


Abb. 23.2: Bestimmung der Herzfrequenz. **b** Papiervorschub 25 mm/s (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.35).

Q-Zacken

Die Q-Zacke beschreibt die initiale Kammererregung. Sie ist normalerweise klein, spitz, nach unten gerichtet und dauert maximal 0,03s (Abb. 24) (Schuster & Trappe, 2017).



Abb. 24: Schematische Darstellung der Q-Zacke im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.22).

In den Extremitätenableitungen als auch in V_5 bzw. V_6 gilt das Q nur dann pathologisch, wenn es abnormal breit ($> 0,03s$) oder abnormal tief ($> 1/4$ der folgenden R-Zacke) ist. Werden beide Kriterien erfüllt, nennt man dies Pardee-Q (Abb. 25). Treten Q-Zacken in den Ableitungen V_1 - V_4 auf, gelten diese stets als pathologisch (Schuster & Trappe, 2017).

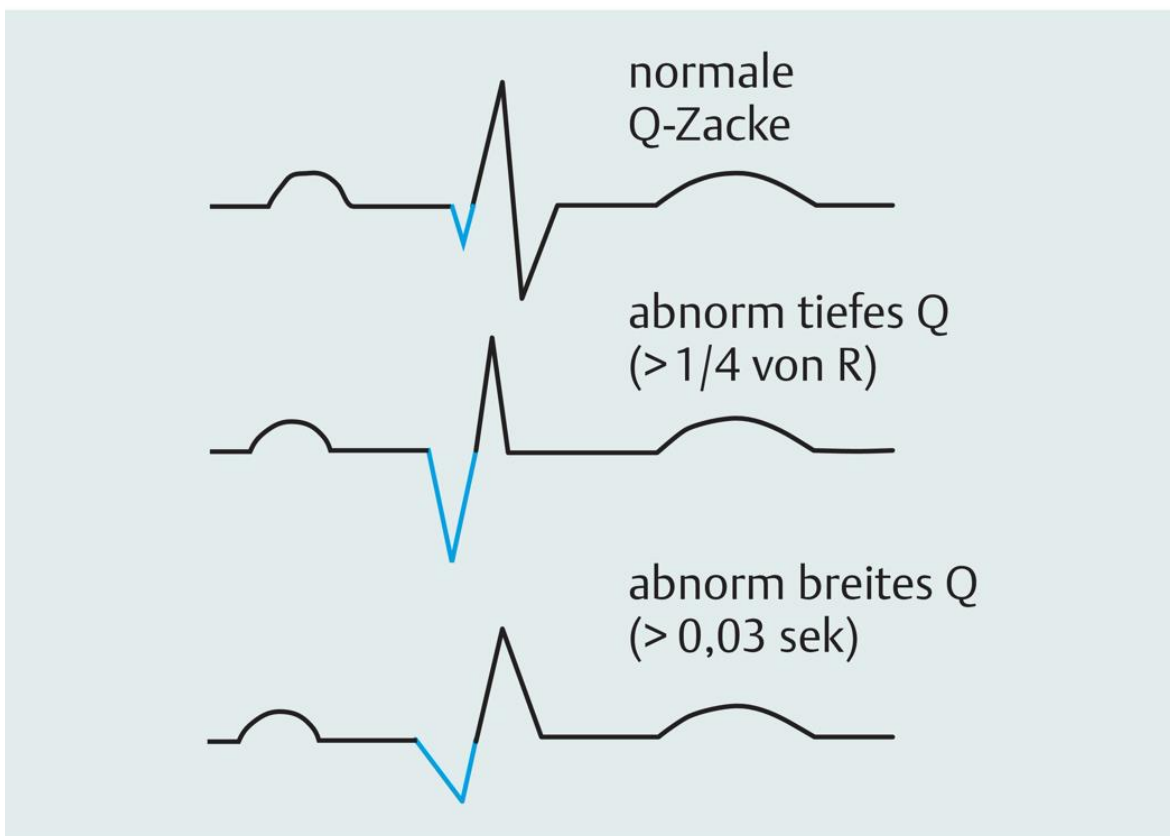


Abb. 25: Darstellung normaler und pathologischer Q-Zacken (abnorm tiefes oder abnorm breites Q) im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.22).

Ein pathologisches Q kann auch eine Indiz auf einen Myokardinfarkt in der (inferioren) Hinterwand (Ableitung II, III, aVF), der (seitlichen) Lateralwand (Ableitung I, aVL) oder der Vorderwand (Ableitungen V₁-V₆) sein. Pathologische Q-Zacken in V₁-V₃ treten auch bei hypertropher Kardiomyopathie auf (Schuster & Trappe, 2017).

R- und S-Zacken

Die im Folgenden beschriebenen Punkte gelten unter physiologischen Bedingungen (Abb. 26) (Schuster & Trappe, 2017):

- R und S sind schmale, schlanke, spitze Zacken.
- In den Brustwandableitungen nimmt R von V₂-V₅ an Höhe kontinuierlich zu. Dieses Phänomen bezeichnet man als R-Aufbau = R-Progression = R-Entwicklung. Parallel dazu nimmt S von V₂-V₅ an Tiefe ab. Den Bereich, in dem R größer wird als S, bezeichnet man als Umschlagzone. Diese Umschlagzone liegt normalerweise zwischen V₂ und V₃ oder zwischen V₃ und V₄. Ist dieses Kriterium nicht gegeben, so spricht man von gestörter oder mangelhafter R-Progression (Abb. 27). Bleibt ein tiefes S bis V₆ erhalten, so bezeichnet man dieses als S-Persistenz (Abb. 27). Gestörter R-Aufbau und S-Persistenz können verschiedene Ursachen haben... (Schuster & Trappe, 2017, S.22).

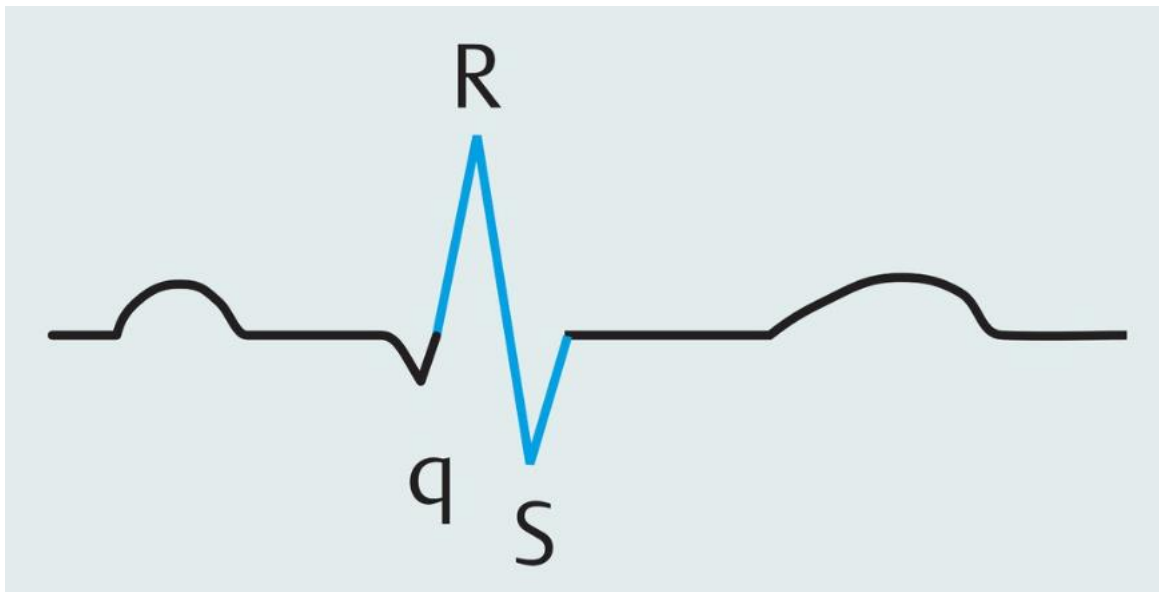


Abb. 26: Schematische Darstellung von RS im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.22).

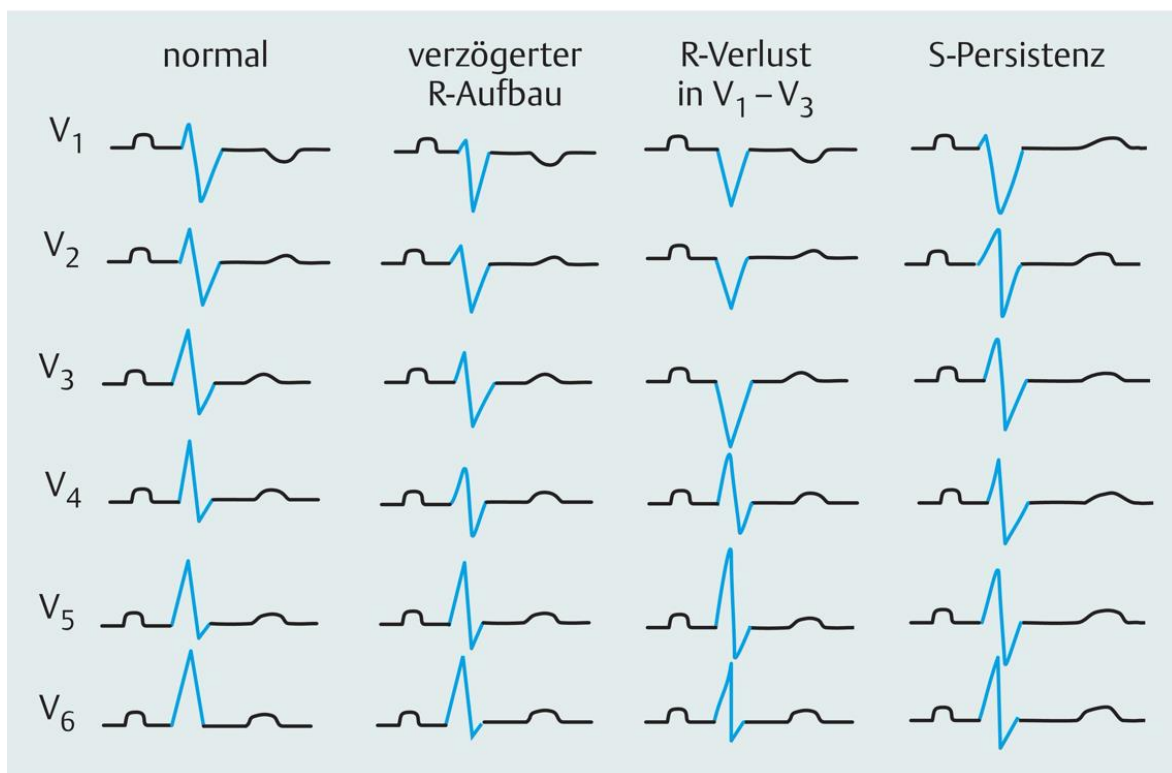


Abb. 27: Normale und pathologische Befunde von R- und S-Zacken im Elektrokardiogramm: Verzögerter R-Aufbau, R-Verlust bzw. S-Persistenz (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.23).

QRS-Zeit

Der physiologische QRS-Komplex erfüllt die für die einzelnen Zacken (Q, R, S) definierten morphologischen Kriterien und hat eine Dauer von 0,06-0,10s. Kommt es zu einer Störung der intraventrikulären Erregungsausbreitung (= QRS-Komplex), zeigt sich dies als verlängerte Dauer sowie als Deformierung des QRS-Komplexes (Abb. 28) (Schuster & Trappe, 2017).

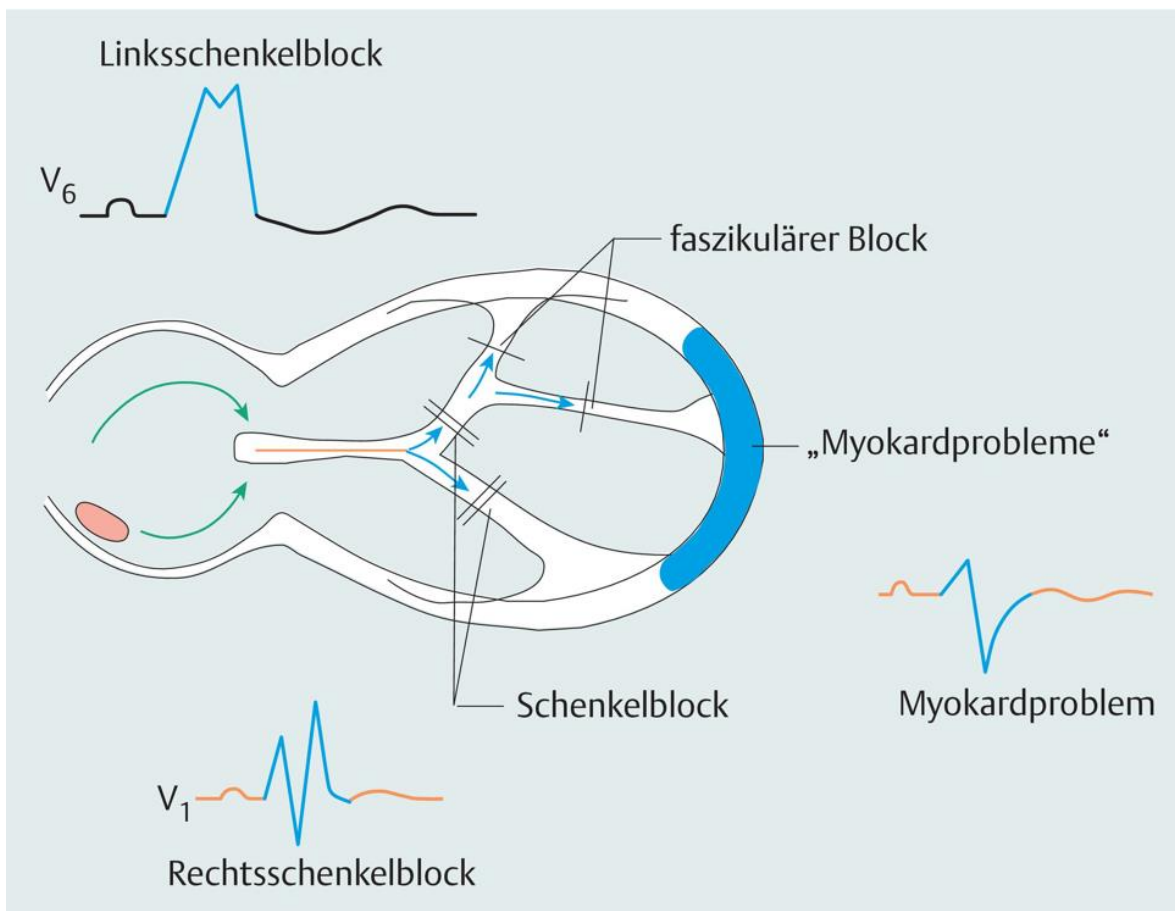


Abb. 28: Ursachen von Schenkelblockierungen und faszikulären Blockierungen („Kabelprobleme“) im Vergleich zu Störungen der Erregungsausbreitung/-rückbildung durch intramyokardiale Störungen („Myokardprobleme“) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.23).

Als Ursache für die Störung der intraventrikulären Erregungsausbreitung gelten verschiedene electrophysiologische Prozesse (Abb. 28) (Schuster & Trappe, 2017):

- „eine Störung der Erregungsausbreitung in den Reizleitungsschenkeln (Schenkelblock) oder in den Faszikeln (faszikulärer Block), also ein „Kabelproblem“

- eine Störung im Bereich des Purkinje-Fasersystems und der Herzmuskelzellen selbst, also ein „Myokardproblem“ (immer Ausdruck einer tiefgreifenden subendokardialen Schädigung)“ (Schuster & Trappe, 2017, S.23)

ST-Strecke und T-Welle

T-Wellen-Inversion (TWI) – (T-Wellen-Negativierung)

Die ST-Strecke und die T-Welle stellen die Erregungsrückbildung in den Ventrikeln dar (Schuster & Trappe, 2017).

Die ST-Strecke folgt nach dem QRS-Komplex in Form einer geradlinigen, isoelektrischen Linie und stellt den Anfang der Kammerrepolarisation dar (Abb. 29) (Schuster & Trappe, 2017).

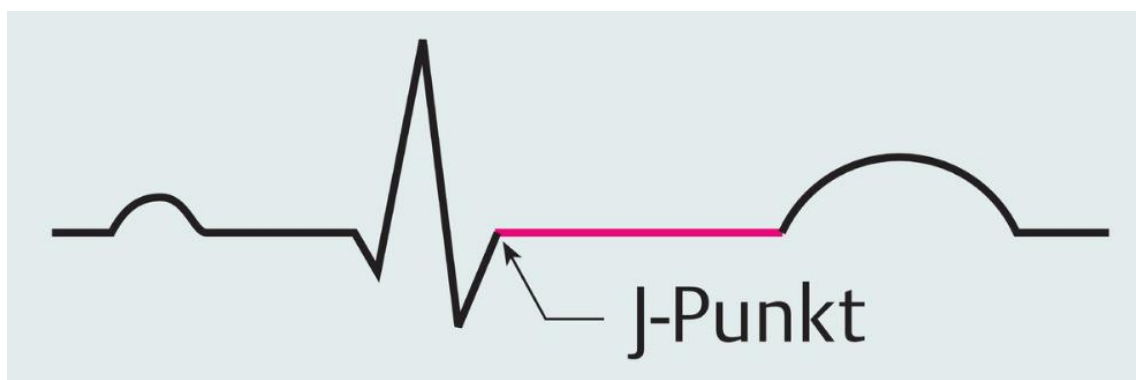


Abb. 29: Darstellung der ST-Strecke mit Markierung des J-Punktes (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).

Als J-Punkt wird jener Punkt bezeichnet, welcher den Übergang der S-Zacke des QRS-Komplexes in die ST-Strecke kennzeichnet. (Ist keine S-Zacke vorhanden, gilt jener Punkt, in welchem der absteigende R-Schenkel in die ST-Strecke übergeht als J-Punkt.) An dieser Stelle kann eine weitere Welle im EKG entstehen, welche als J-Welle bezeichnet wird (Abb. 29) (Schuster & Trappe, 2017).

ST-Strecken-Hebungen bzw. ST-Strecken-Senkungen gelten als pathologisch. Im Fall der ST-Strecken-Hebung wird weiter differenziert, ob das angehobene Segment dessen Ursprung im absteigenden R-Schenkel (tritt häufig bei Myokardinfarkt auf) oder im

aufsteigenden S-Schenkel (tritt häufig bei Perikarditis auf) hat (Abb. 30) (Schuster & Trappe, 2017).

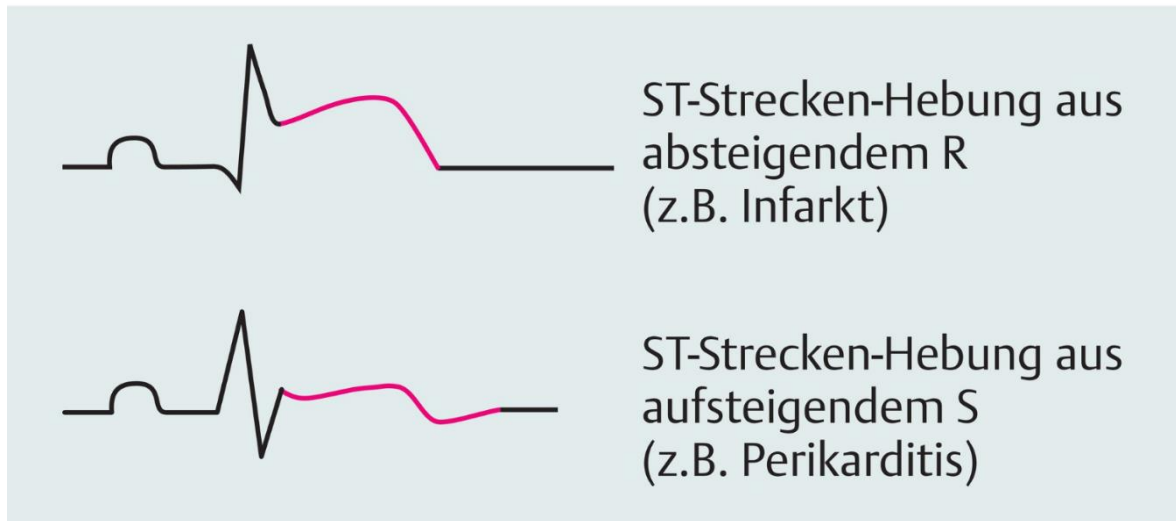


Abb. 30: Schematische Darstellung von zwei pathologischen ST-Strecken-Hebungen: ST-Strecken-Hebung aus dem absteigenden R als Zeichen eines akuten Infarktes bzw. aus dem aufsteigenden S als Zeichen einer akuten Perikarditis (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).

Die ST-Strecken-Senkung wird hingegen entsprechend ihrer Form bzw. ihrem Verlauf in aszendierend, deszendierend und horizontal gegliedert (Abb. 31) (Schuster & Trappe, 2017).

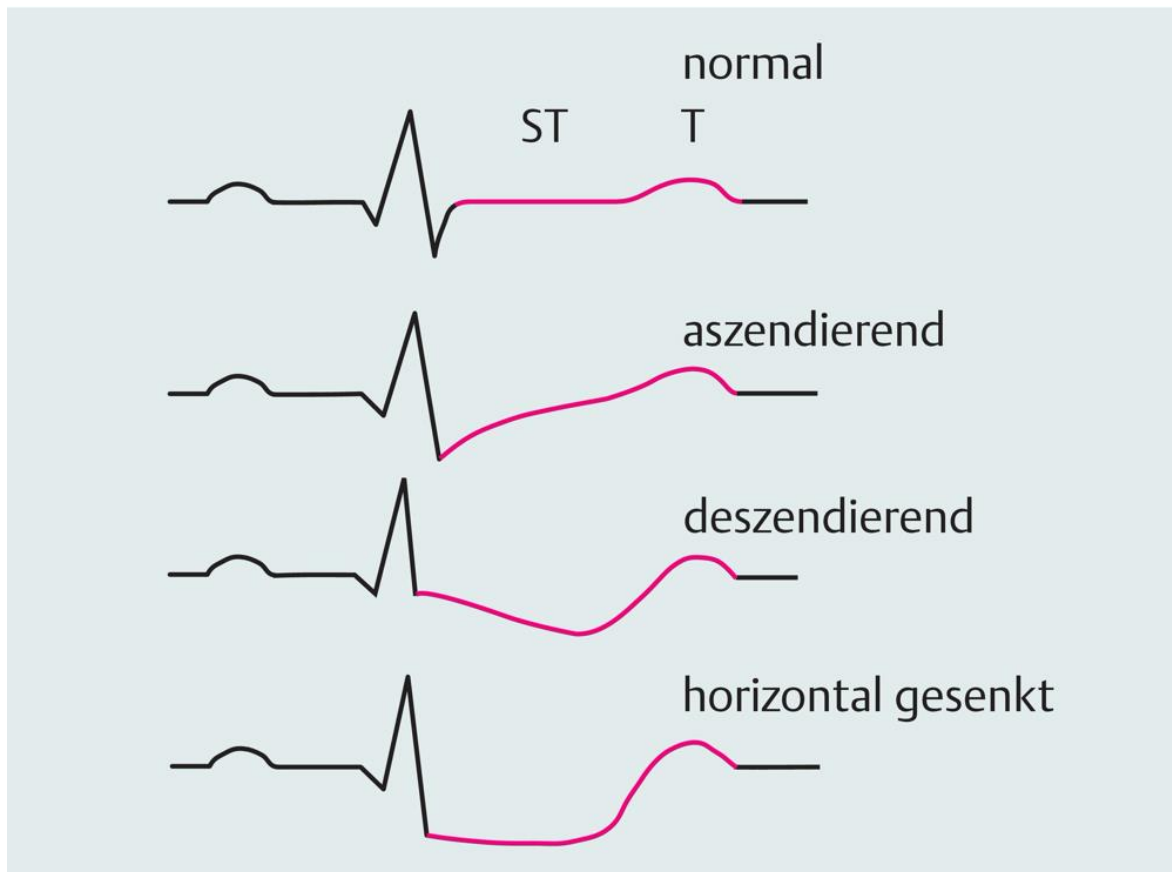


Abb. 31: Formen von ST-Strecken-Senkungen im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).

Die T-Welle stellt den letzten Abschnitt der intraventrikulären Erregungsrückbildung dar und weist im Normalfall eine halbrunde, glatte, positive Kurve mit einer Amplitudenhöhe von $\frac{1}{6}$ bis zu $\frac{2}{3}$ der R-Zacke auf (Abb. 32) (Schuster & Trappe, 2017).

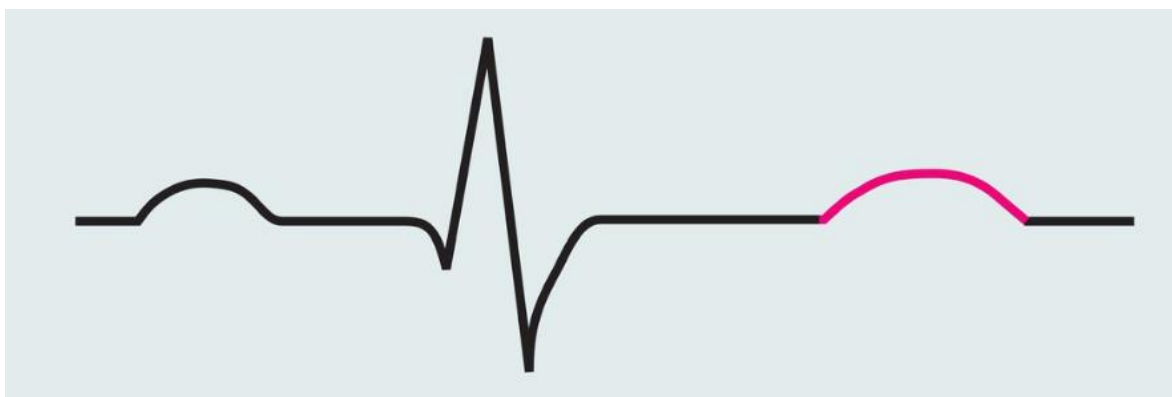


Abb. 32: Darstellung der T-Welle im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).

Folgende physiologische Ausnahmen können vorkommen:

- In V1 darf die T-Welle negativ sein.
- Wenn der zur T-Welle zugehörige QRS-Komplex überwiegend negativ ist, muss eine gleichzeitige negative T-Welle nicht sicher pathologisch sein („konkordant negatives T“ = Konkordanz zwischen Hauptvektor von QRS und T-Welle, Abb. 33).
- In V1–V3 darf die T-Welle höher als $\frac{2}{3}$ R sein.
- Folgende typische pathologische Veränderungen der T-Welle werden unterschieden (Abb. 33):
- T-Abflachung, im Extremfall isoelektrisches T
- T-Negativierung: Die exakte Beurteilung wird unter Zuhilfenahme des Winkels bestimmt, der durch den absteigenden und aufsteigenden Schenkel des negativen Anteils von T gebildet wird. Durch diesen Winkel wird die Winkelhalbierende gelegt. Steht diese senkrecht zur Horizontalen (zur isoelektrischen Linie), handelt es sich um eine terminal negative T-Welle (auch das Ende der T-Welle ist negativ); ist sie geneigt zu dieser („spitzer Winkel“), um eine präterminal negative T-Welle.
- Überhöhte T-Welle: Auffallend hohe T-Welle bei starkem vegetativem Tonus („vegetatives T“)
- Zeltförmige T-Welle: T ist hoch und spitz; Vorkommen beim frischen Myokardinfarkt..., und bei Hyperkaliämie... (Schuster & Trappe, 2017, S.24-25)

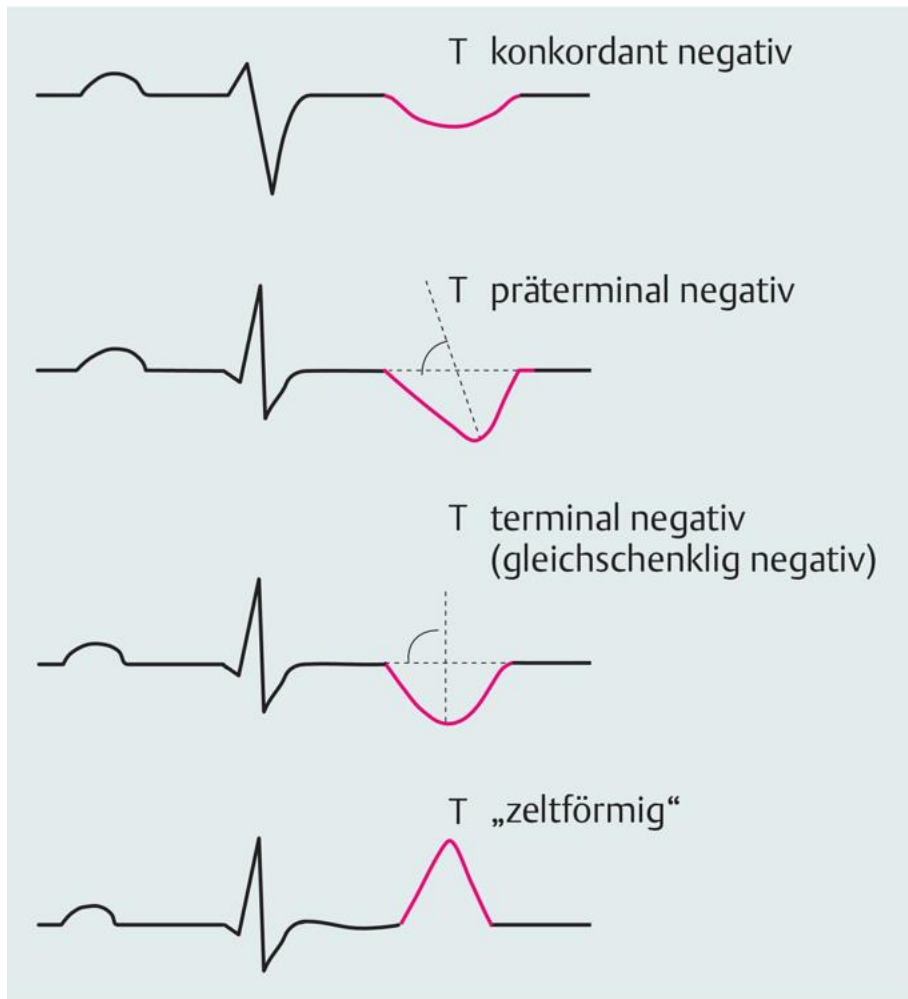


Abb. 33: Formen von T-Wellen-Veränderungen im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).

Ventrikuläre Extrasystolen (VES), Supraventrikuläre Extrasystolen (SVES)

Als Extrasystolen werden zusätzliche Herzschläge bezeichnet, welche nicht in das Bild des Grundrhythmus passen (Schuster & Trappe, 2017).

VES können sich überall im Ventrikelmyokard bilden und breiten sich anschließend im Ventrikelmyokard aus. Sie kennzeichnet ein frühzeitiger, verbreiteter (> 110 ms), schenkelblockartiger QRS-Komplex und das Nichtvorhandensein der P-Welle (Schuster & Trappe, 2017).

SVES entstehen über dem AV-Knoten und werden über das spezifische Erregungsleitungssystem auf die Ventrikel geleitet. Sie kennzeichnet daher meistens eine

frühzeitige, deformierte P-Welle und einen in Form und Breite unauffälligen QRS-Komplex (Abb. 34) (Schuster & Trappe, 2017).

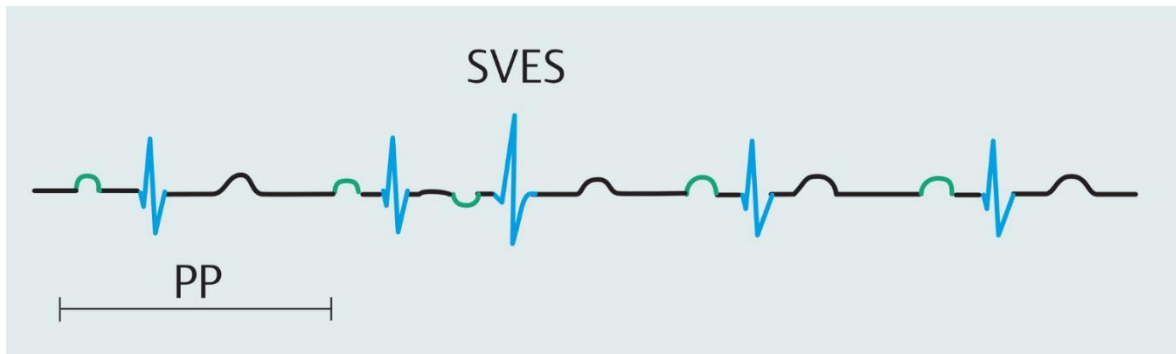


Abb. 34: Elektrokardiografische Charakteristika einer supraventrikulären Extrasystole (SVES) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.97).

Internationale Empfehlungen für die EKG-Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern

Der plötzliche Herztod gilt als die Todesursache Nummer eins bei Athletinnen und Athleten während sportlicher Aktivität. Eine Indiz bzw. die Identifikation des Großteils der Pathologien in Zusammenhang mit einem erhöhten Risiko für das Auftreten des plötzlichen Herztodes kann durch Abnormalitäten im 12-Kanal-Ruhe-EKG gemacht werden. Sei es für die Diagnoseerstellung kardiovaskulärer Krankheiten, für die Prävalenz in Zusammenhang mit Genetik bzw. Vererbbarkeit, für das Auftreten des plötzlichen Herztodes in jungem Alter oder als Screeningvariante bei asymptomatischen Athletinnen bzw. asymptomatischen Athleten, die richtige Interpretation des EKGs gilt als Schlüsselkomponente für alle Ärztinnen und Ärzte, die Athletinnen und Athleten kardiovaskulär betreuen (Ackerman et al., 2018).

Grenzen der EKG-Diagnostik

Trotz der immer fortschreitenden Entwicklung der Medizingerätetechnik sind der EKG-Diagnostik Grenzen in Bezug auf die Sensibilität als auch Spezifität kardiovaskulärer Zustände, v.a. in Bezug auf den plötzlichen Herztod, gesetzt. So können auch abnormale Koronararterien bzw. eine frühzeitige Arteriosklerose der Koronararterien sowie Erkrankungen der Aorta nicht mittels eines EKGs erkannt werden (Ackerman et al., 2018).

Es gibt Fälle, in denen Patientinnen bzw. Patienten mit diagnostizierter Kardiomyopathie, insbesondere mit arrhythmogener, rechtsventrikulärer Kardiomyopathie (Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy (ARVC)), ein normales EKG-Bild zeigen. Es lassen sich somit nicht alle abnormen, kardiologischen Zustände, welche auch den plötzlichen Herztod begünstigen, mittels EKG diagnostizieren (Ackerman et al., 2018).

Obwohl mittels Studien (z.B. Asif et al., 2012 & Asif et al., 2014) gezeigt werden konnte, dass die Genauigkeit der EKG-Interpretation durch die Anwendung standardisierter Kriterien verbessert wird, ist die unterschiedliche Interpretation des EKGs, je nach

diagnostizierender Ärztin bzw. diagnostizierendem Arzt, weiterhin ein kritischer Aspekt, welcher zu unterschiedlichen Diagnosen führen kann (Ackerman et al., 2018).

Normale bzw. physiologische EKG-Untersuchungsergebnisse bei Sportlern

Physiologische, kardiologische Adaptationen durch regelmäßige körperliche Aktivität

Die Durchführung von regelmäßiger, langfristiger, intensiver körperlicher Aktivität (≥ 4 Stunden/ Woche) führt zu besonderen elektrischen Erscheinungsformen welche die vergrößerte, kardiale Kammergröße und den erhöhten Vagustonus widerspiegeln. Die in der folgenden Tabelle dargestellten EKG-Parameter gelten bei Athletinnen und Athleten als normal bzw. als physiologische Adaptationen auf regelmäßige, körperliche Aktivität. Werte dieser Größenordnung erfordern demnach keine weitere Befundung (Abb. 35, Tab. 2) (Ackerman et al., 2018).

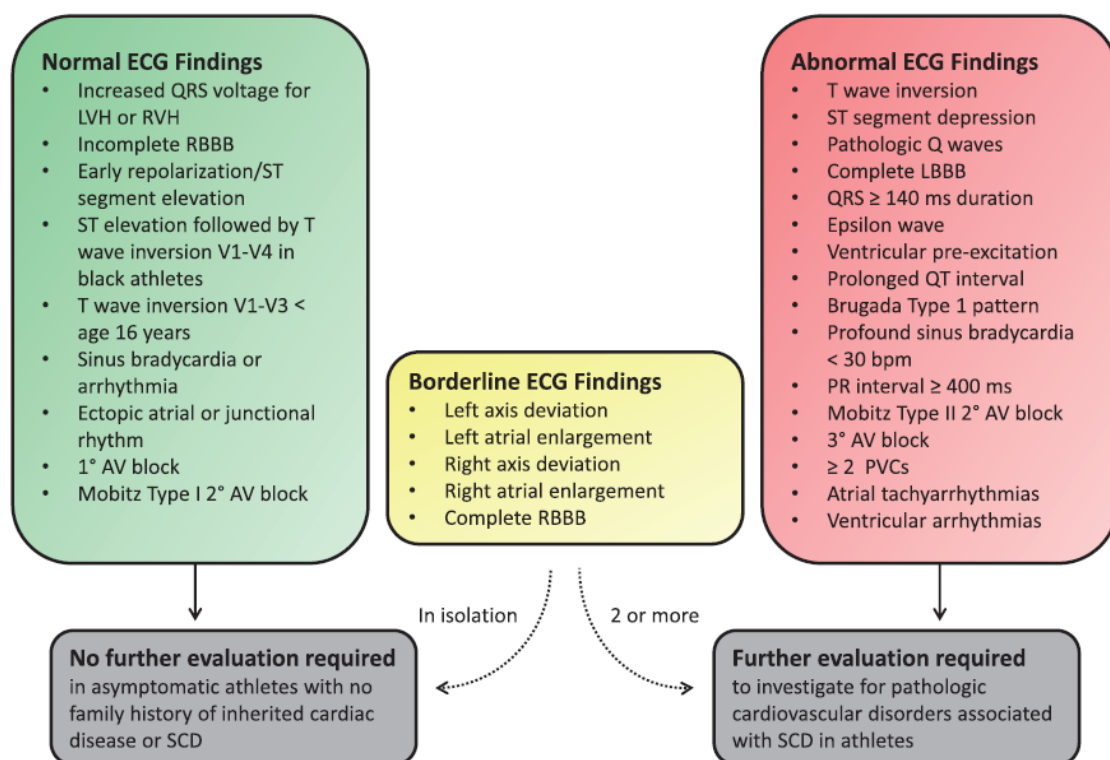


Abb. 35: Internationale Kriterien für elektrokardiographische Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern. AV (atrioventricular block) – Atrioventrikularblock; LBBB (left bundle branch block) – Linksschenkelblock; LVH (left ventricular hypertrophy) – linke ventrikuläre Hypertrophie; RBBB (right bundle branch block) – Rechtsschenkelblock; RVH (right ventricular hypertrophy) – rechte ventrikuläre Hypertrophie; PVC (premature

ventricular contraction) – ventrikuläre Extrasystole; SCD (sudden cardiac death) – plötzlicher Herztod (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1467).

Tab. 2: Internationale Kriterien für elektrokardiographische Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern: Definition der EKG-Kriterien

Abnormal ECG findings in athletes	
These ECG findings are unrelated to regular training or expected physiologic adaptation to exercise, may suggest the presence of pathologic cardiovascular disease, and require further diagnostic investigation.	
ECG abnormality	Definition
T wave inversion	≥ 1 mm in depth in two or more contiguous leads; excludes leads aVR, III, and V1
• Anterior	• V2–V4 – excludes: black athletes with J-point elevation and convex ST segment elevation followed by TWI in V2–V4; athletes < age 16 with TWI in V1–V3; and biphasic T waves in only V3
• Lateral	• I and aVL, V5 and/or V6 (only one lead of TWI required in V5 or V6)
• Inferolateral	• II and aVF, V5–V6, I and aVL
• Inferior	• II and aVF
ST segment depression	≥ 0.5 mm in depth in two or more contiguous leads
Pathologic Q waves	Q/R ratio ≥ 0.25 or ≥ 40 ms in duration in two or more leads (excluding III and aVR)
Complete left bundle branch block	QRS ≥ 120 ms, predominantly negative QRS complex in lead V1 (QS or rS), and upright notched or slurred R wave in leads I and V6
Profound nonspecific intra-ventricular conduction delay	Any QRS duration ≥ 140 ms
Epsilon wave	Distinct low amplitude signal (small positive deflection or notch) between the end of the QRS complex and onset of the T wave in leads V1–V3
Ventricular pre-excitation	PR interval < 120 ms with a delta wave (slurred upstroke in the QRS complex) and wide QRS (≥ 120 ms)
Prolonged QT interval ^a	QTc ≥ 470 ms (male) QTc ≥ 480 ms (female) QTc ≥ 500 ms (marked QT prolongation)
Brugada Type 1 pattern	Coved pattern: initial ST elevation ≥ 2 mm (high take-off) with downsloping ST segment elevation followed by a negative symmetric T wave in ≥ 1 leads in V1–V3
Profound sinus bradycardia	< 30 bpm or sinus pauses ≥ 3 sec
Profound 1° atrioventricular block	≥ 400 ms
Mobitz Type II 2° atrioventricular block	Intermittently non-conducted P waves with a fixed PR interval
3° atrioventricular block	Complete heart block
Atrial tachyarrhythmias	Supraventricular tachycardia, atrial fibrillation, atrial flutter
PVC	≥ 2 PVCs per 10 s tracing
Ventricular arrhythmias	Couplets, triplets, and non-sustained ventricular tachycardia
Borderline ECG findings in athletes	
These ECG findings in isolation likely do not represent pathologic cardiovascular disease in athletes, but the presence of two or more borderline findings may warrant additional investigation until further data become available.	
ECG abnormality	Definition
Left axis deviation	-30° to -90°
Left atrial enlargement	Prolonged P wave duration of > 120 ms in leads I or II with negative portion of the P wave ≥ 1 mm in depth and ≥ 40 ms in duration in lead V1
Right axis deviation	> 120°
Right atrial enlargement	P wave ≥ 2.5 mm in II, III, or aVF
Complete right bundle branch block	rSR' pattern in lead V1 and a S wave wider than R wave in lead V6 with QRS duration ≥ 120 ms
Normal ECG findings in athletes	
These training-related ECG alterations are physiologic adaptations to regular exercise, considered normal variants in athletes, and do not require further evaluation in asymptomatic athletes with no significant family history.	
Normal ECG finding	Definition
Increased QRS voltage	Isolated QRS voltage criteria for left (SV1 + RV5 or RV6 > 3.5 mV) or right ventricular hypertrophy (RV1 + SV5 or SV6 > 1.1 mV)
Incomplete RBBB	rSR' pattern in lead V1 and a qRS pattern in lead V6 with QRS duration < 120 ms

Continued

Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG

Early repolarization	J point elevation, ST elevation, J waves, or terminal QRS slurring in the inferior and/or lateral leads
Black athlete repolarization variant	J-point elevation and convex ('domed') ST segment elevation followed by T wave inversion in leads V1-V4 in black athletes
Juvenile T wave pattern	T-wave inversion V1–V3 in athletes < age 16
Sinus bradycardia	≥ 30 bpm
Sinus arrhythmia	Heart rate variation with respiration: rate increases during inspiration and decreases during expiration
Ectopic atrial rhythm	P waves are a different morphology compared with the sinus P wave, such as negative P waves in the inferior leads ('low atrial rhythm')
Junctional escape rhythm	QRS rate is faster than the resting P wave or sinus rate and typically less than 100 beats/minute with narrow QRS complex unless the baseline QRS is conducted with aberrancy
1° atrioventricular block	PR interval 200–400 ms
Mobitz Type I 2° atrioventricular block	PR interval progressively lengthens until there is a non-conducted P wave with no QRS complex; the first PR interval after the dropped beat is shorter than the last conducted PR interval

ECG, electrocardiogram; PVC, premature ventricular contraction; RBBB, right bundle branch block.

^aThe QT interval corrected for heart rate is ideally measured using Bazett's formula with heart rates between 60 and 90 bpm; preferably performed manually in lead II or V5 using the teach-the-tangent method¹ to avoid inclusion of a U wave (please see text for more details). Consider repeating the ECG after mild aerobic activity for a heart rate < 50 bpm, or repeating the ECG after a longer resting period for a heart rate > 100 bpm, if the QTc value is borderline or abnormal.

Quelle: Ackerman et al., 2018, p.1468-1469

Frühe Repolarisation

In der EKG-Diagnostik wird unter einer frühen Repolarisation die Erhebung des Knotenpunkts zw. QRS-Komplex und ST-Strecke (J-Punkt) um $\geq 0.1\text{mV}$ verstanden, wobei dies oftmals mit einem verspäteten bogenförmigen Übergangs des absteigenden Schenkels der R-Zacke in die ST-Strecke (J-Welle) in den inferioren (II, III, aVF) bzw. lateralen (V₅, V₆, I, aVL) Ableitungen in Verbindung steht. Das Phänomen der frühen Repolarisation ist in der gesunden Bevölkerungsschicht mit einer Spannungsbreite von 2-44% vertreten, wobei v.a. Athletinnen und Athleten, junge, männliche Personen bzw. Personen mit schwarzer Hautfarbe davon betroffen sind (Ackerman et al., 2018).

Die frühe Repolarisation, gekennzeichnet durch eine Erhebung des J-Punkts mit konkaver ST-Strecken-Hebung sowie einer spitzen, negativen T-Welle (Abb. 36) zeigt sich in 45% der weißen Athletinnen und Athleten bzw. in 63-91% der schwarzen Athletinnen und Athleten mit afrikanisch-karibischer Abstammung (Ackerman et al., 2018).

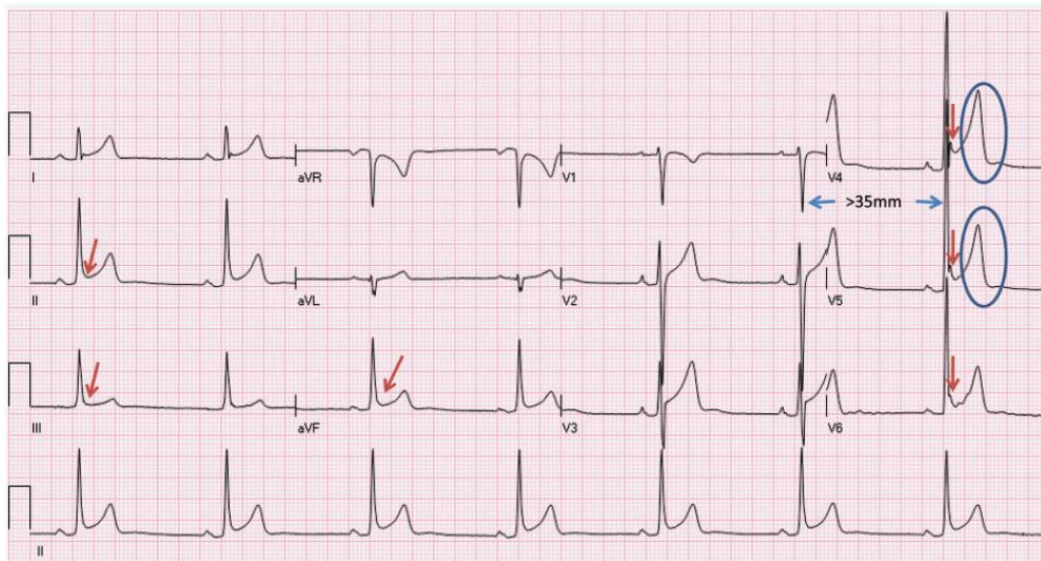


Abb. 36: Elektrokardiogramm eines 29-jährigen, männlichen, asymptomatischen Fußballspielers mit Sinus-Bradykardie (44 Schläge/ Min.), früher Repolarisation in I, II, aVF, V₅-V₆ (Pfeile), Spannungskriterium für linksventrikuläre Hypertrophie ($S-V_1 + R-V_5 > 35 \text{ mm}$), und große, spitze T-Wellen (Kreise). Dies sind typische, trainingsbezogene Ergebnisse bei Sportlerinnen und Sportlern und erfordern keine weitere Evaluation (mod. n. Ackerman et al., 2018, p. 1472).

Auch wenn weitere Studien in Bezug auf die Mechanismen bzw. Prognostizierung der frühen Repolarisation bei Leistungssportlerinnen und Leistungssportlern notwendig sind, bis dato existieren keine validen Daten, durch welche auf eine Verbindung zw. inferiorer, frühen Repolarisation und plötzlichem Herztod bei Sportlerinnen bzw. bei Sportlern geschlossen werden kann. Trotzdem sollte jedes Anzeichen einer frühen Repolarisation im EKG, wenn dieses isoliert auftritt und auch ohne klinische, pathologische Anzeichen, benigne betrachtet werden (Ackerman et al., 2018).

Unter "benigne" versteht man einen Krankheitsprozess, der keine Tendenz zur aggressiven Ausbreitung bzw. Verschlimmerung zeigt. Der Begriff wird vor allem in Zusammenhang mit der Klassifikation von Tumoren verwendet und bezeichnet hier ein langsames, nicht-invasives Wachstum unter schrittweiser Verdrängung der umgebenden Strukturen (Bias, 2019, S.1).

Physiologische Arrhythmien bei Sportlerinnen und Sportlern

Typische Anzeichen einer gesteigerten Aktivität des Nervus Vagus sind die Sinusbradykardie sowie die Sinusarrhythmie (Ackerman et al., 2018).

Unter der Sinusbradykardie wird ein regelmäßiger Sinusrhythmus verstanden, wobei die Herzfrequenz unter 50 Schläge/ Min. beträgt. Die Sinusarrhythmie beschreibt hingegen einen unregelmäßigen Sinusrhythmus mit unterschiedlich langen Intervallen zw. dem Auftreten der P-Wellen (Schuster & Trappe, 2017).

Andere, weniger häufig vorkommende Anzeichen eines gesteigerten Tonus des Nervus Vagus sind junctionale bzw. ektopische Vorhofrhythmus, erstgradiger AV-Block sowie zweitgradiger AV-Block Typ Mobitz I (Wenckebach-Block) (Ackerman et al., 2018).

Differentialdiagnose EKG-Befundung bei Sportlerinnen und Sportlern

Wird ein EKG auf den ersten Blick als abnormal eingestuft, bedeutet dies nicht, dass es nicht auch eine Variante normalen Ursprungs bzw. die physiologische, kardiologische Reaktion bei Athletinnen bzw. bei Athleten anstatt einer Pathologie des Herzens widerspiegeln kann. International, gültige Kriterien sind für die richtige Interpretation des EKGs bei Sportlerinnen bzw. bei Sportlern essentiell und in Abb. 35 bzw. Tab. 2 ersichtlich (Ackerman et al., 2018).

Achsen Abweichung und Kriterien für elektrische Spannung bei Vorhofvergrößerung

Achsen Abweichungen und typische elektrische Spannungszustände für eine Vergrößerung der Vorhöfe zeigen sich in mehr als 40% abnormaler EKGs bei Sportlerinnen und Sportlern, weisen jedoch keine kardiologische Pathologie auf (Ackerman et al., 2018).

Kompletter RBBB

Die Vorkommnis eines kompletten RBBB ist mit schätzungsweise 1% der Weltbevölkerung bzw. mit 0,5-2,5% bei Sportlerinnen und Sportlern in jungem Erwachsenenalter im Vergleich zu der eines inkompletten RBBB bei jungen Sportlerinnen und Sportlern relativ selten. Abweichungen der linken bzw. rechten, elektrischen Achse, die Vergrößerung des linken bzw. rechten Vorhofs sowie ein kompletter RBBB zählen zu grenzwertigen Erscheinungsformen bei Athletinnen und Athleten. Tritt auch nur eines dieser Ereignisse auf (isoliert oder in Kombination mit anderen, physiologischen, elektrischen Erscheinungsformen bei sportlichem Training), kann keine weitere Beurteilung asymptomatischer Sportlerinnen bzw. asymptomatischer Sportler, ohne vorher eine ausführliche Anamnese hinsichtlich frühzeitiger, kardiologischer Erkrankungen bzw. in Bezug auf einen plötzlichen Herztod im Verwandtenkreis gemacht zu haben, gewährleistet werden. Im Vergleich dazu wird das EKG der Sportlerin bzw. des Sportlers bereits bei

Vorkommen von mehr als einer dieser kritischen Gegebenheiten als abnormal eingestuft und es bedarf somit weiterer kardiologischer Untersuchungen (Ackerman et al., 2018).

Abnormale bzw. nicht-physiologische EKG-Untersuchungsergebnisse bei Sportlerinnen und Sportlern

Die im Folgenden beschriebenen, abnormalen EKG-Untersuchungsergebnisse sind keine physiologischen Charakteristika sportlichen Trainings und bedürfen weiter Beurteilung, um die Präsenz spezifischer, kardiologischer Krankheiten auszuschließen (Abb. 35, Tab. 2, Tab. 3) (Ackerman et al., 2018).

Tab. 3: Analyse elektrokardiographischer Abnormalitäten

ECG abnormality	Potential cardiac disease ^a	Recommended evaluation ^b	Considerations
T wave inversion in the lateral or inferolateral leads	HCM DCM LVNC ARVC (with predominant LV involvement) Myocarditis	Echocardiography CMR Exercise ECG test Minimum 24 h ECG monitor	Lateral or inferolateral T wave inversion is common in primary myocardial disease. CMR should be a routine diagnostic test for this ECG phenotype and is superior to echocardiography for detecting apical HCM, LVH localized to the free lateral wall, ARVC with predominant left ventricular involvement, and myocarditis. If CMR is not available, echocardiography with contrast should be considered as an alternative investigation for apical HCM in patients with deep T wave inversion in leads V5–V6. Consider family evaluation if available and genetic screening. Annual follow-up testing is recommended throughout athletic career in athletes with normal results.
T wave inversion isolated to the inferior leads	HCM DCM LVNC Myocarditis	Echocardiography	Consider CMR based on echo findings or clinical suspicion.
T wave inversion in the anterior leads ^c	ARVC DCM	Echocardiography CMR Exercise ECG test Minimum 24 h ECG monitor SAECG	The extent of investigations may vary based on clinical suspicion for ARVC and results from initial testing.
ST segment depression	HCM DCM LVNC ARVC Myocarditis	Echocardiography	Consider CMR and additional testing based on echo findings or clinical suspicion.
Pathologic Q waves	HCM DCM LVNC Myocarditis Prior MI	Echocardiography CAD risk factor assessment Repeat ECG for septal (V1–V2) QS pattern; above investigations recommended if septal Q waves are persistent	Consider CMR (with perfusion study if available) based on echo findings or clinical suspicion. In the absence of CMR, consider exercise stress testing, dobutamine stress echocardiogram, or a myocardial perfusion scan for evaluation of coronary artery disease in athletes with suspicion of prior MI or multiple risk factors for CAD.
Complete left bundle branch block	DCM HCM LVNC Sarcoidosis Myocarditis	Echocardiography CMR (with stress perfusion study) ^d	A comprehensive cardiac evaluation to rule out myocardial disease should be considered.
Profound nonspecific intraventricular conduction delay ≥ 140 ms	DCM HCM LVNC	Echocardiography	Consider additional testing based on echo findings or clinical suspicion.
Epsilon wave	ARVC	Echocardiography CMR Exercise ECG test Minimum 24 h ECG monitor SAECG	An epsilon wave in leads V1–V3 is a highly specific ECG maker and a major diagnostic criterion for ARVC.

Continued

ECG abnormality	Potential cardiac disease ^a	Recommended evaluation ^b	Considerations
Multiple premature ventricular contractions	HCM DCM LVNC ARVC Myocarditis Sarcoidosis	Echocardiography 24 h ECG monitor Exercise ECG test	If > 2000 PVC's or non-sustained ventricular tachycardia are present on initial testing, comprehensive cardiac testing inclusive of CMR is warranted to investigate for myocardial disease.
Ventricular pre-excitation	WPW	Exercise ECG test Echocardiography	Consider signal averaged ECG (SAECG). Abrupt cessation of the delta wave (pre-excitation) on exercise ECG denotes a low risk pathway. EP study for risk assessment should be considered if a low risk accessory pathway cannot be confirmed by non-invasive testing. Consider EP study for moderate to high intensity sports.
Prolonged QTc	LQTS	Repeat resting ECG on separate day Review for QT prolonging medication Acquire ECG of 1 st degree relatives if possible	Consider exercise ECG test, laboratory (electrolyte) screening, family screening and genetic testing when clinical suspicion is high. Consider direct referral to a heart rhythm specialist or sports cardiologist for a QTc $\geq$ 500ms.
Brugada Type 1 pattern	Brugada syndrome	Referral to cardiologist or heart rhythm specialist	Consider high precordial lead ECG with leads V1 and V2 in 2nd and 3rd intercostal space or sodium channel blockade if Brugada pattern is indeterminate. Consider genetic testing and family screening.
Profound sinus bradycardia < 30 BPM	Myocardial or electrical disease	Repeat ECG after mild aerobic activity	Consider additional testing based on clinical suspicion.
Profound 1° AV block $\geq$ 400ms	Myocardial or electrical disease	Repeat ECG after mild aerobic activity	Consider additional testing based on clinical suspicion.
Advanced 2° or 3° atrioventricular block	Myocardial or electrical disease	Exercise ECG test Echocardiography Minimum 24 h ECG monitor	Consider laboratory screening and CMR based on echo findings.
Atrial tachyarrhythmias	Myocardial or electrical disease	Exercise ECG test Echocardiography Minimum 24 h ECG monitor	Consider CMR or EP study based on clinical suspicion.
Ventricular arrhythmias ^c	Myocardial or electrical disease	Exercise ECG test Echocardiography CMR Minimum 24 h ECG monitor	A comprehensive cardiac evaluation to rule out myocardial disease and primary electrical disease should be considered.
Two or more borderline ECG findings	Myocardial disease	Exercise ECG test Echocardiography	Consider additional testing based on clinical suspicion.

ARVC, arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy; CAD, coronary artery disease; CMR, cardiovascular magnetic resonance; DCM, dilated cardiomyopathy; ECG, electrocardiogram; EP, electrophysiological; HCM, hypertrophic cardiomyopathy; LQTS, long QT syndrome; LVNC, left ventricular noncompaction; PVC, premature ventricular complexes; SAECEG, signal averaged ECG; WPW, Wolff-Parkinson-White syndrome.

^aThis list of disorders for each ECG abnormality represents the primary cardiac disorders of concern and is not intended to be exhaustive.

^bInitial evaluation of ECG abnormalities should be performed under the direction of a cardiologist. Additional testing will be guided by initial findings and clinical suspicion based on the presence of symptoms or a family history of inherited cardiac disease or SCD.

^cExcludes black athlete repolarization variant and juvenile pattern in adolescents < 16 years.

^dCT coronary angiography if stress perfusion with CMR is unavailable.

^eIncludes couplets, triplets, accelerated ventricular rhythm, and non-sustained ventricular tachycardia.

Quelle: Ackerman et al., 2018, p.1470-1471

Zumindest sollte die sportliche Aktivität bei ungewissem, abnormalem EKG vorübergehend eingeschränkt werden, bis Folgeuntersuchungen abgeschlossen sind (Ackerman et al., 2018).

Abnormale TWI

Tritt eine TWI von mindestens 1 mm eindeutig in 2 oder mehr benachbarten Kanälen (ausgenommen aVR, III und V₁) im anterioren, lateralen, inferolateralen oder inferioren Bereich auf, gilt dies als abnormal und sollte weiter hinsichtlich struktureller Herzkrankheiten untersucht werden (Tab. 2, Tab. 3) (Ackerman et al., 2018).

Das Auftreten der TWI in den inferioren oder lateralen Ableitungen gilt als typisches Erscheinungsbild der hypertrophen Kardiomyopathie. Tritt die TWI hingegen in den rechten Brustwandableitungen (V₁-V₃) oder jenseits der Abwesenheit eines kompletten RBBB auf, liegt häufig eine ARVC vor (Abb. 37 D) (Ackerman et al., 2018).

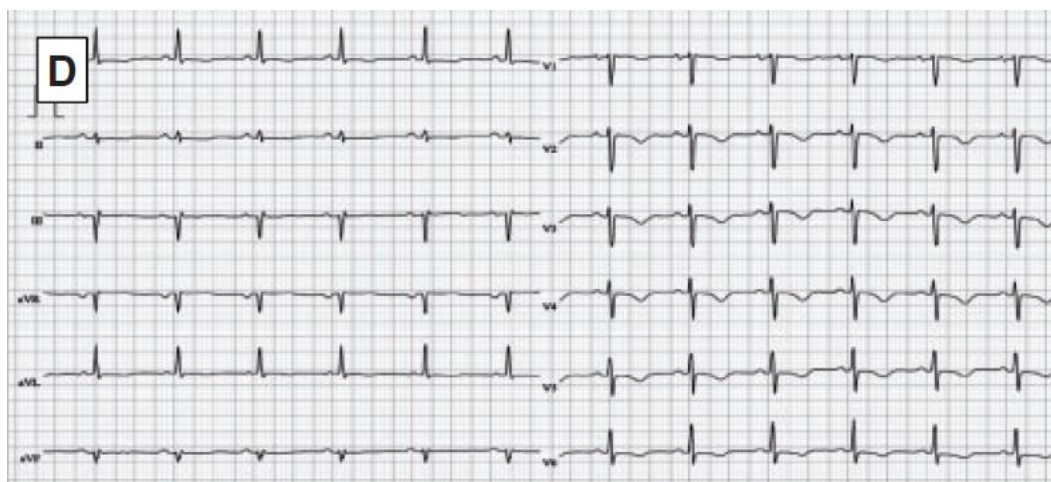


Abb. 37 D: Abnormale T-Wellen-Inversion in V₁-V₆ bei einem symptomatischen, erwachsenen, ehemaligem Fußballspieler mit nachgewiesener, genetischer, arrhythmogener, rechtsventrikulären Kardiomyopathie und einer familiären Prädisposition für das Auftreten vom plötzlichen Herztod (Bruder starb im Alter von 26 Jahren) (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1473).

ST-Strecken Senkung

Die Senkung der ST-Strecke gilt als typisches Zeichen bei Patientinnen bzw. Patienten mit Kardiomyopathie und stellt kein physiologisches Erscheinungsbild während sportlichen Trainings dar (Ackerman et al., 2018).

Tritt eine ST-Strecken Senkung (relativ zum isoelektrischen P-R-Segment) von mehr als 0.05 mV (0.5 mm) in 2 oder mehr Ableitungen auf, sollte dies als abnormal eingestuft werden, was eine genaue Folgebehandlung struktureller Herzkrankheiten erforderlich macht (Ackerman et al., 2018).

Pathologische Q-Wellen

Übermäßig große Q-Wellen (in der Tiefe oder in der Breite) oder das Auftreten plötzlicher Q-Wellen in untypischen Ableitungen können Anzeichen diverser Pathologien wie hypertrophe Kardiomyopathie, ARVC, Erkrankungen des Myokards sowie ein transmuraler Myokardinfarkt sein. Werden die Elektroden falsch positioniert, kann dies ebenfalls als pathologische Q-Welle im EKG ersichtlich sein. So führt typischerweise eine zu hohe Positionierung der Elektroden nach cranial zu einem Pseudoinfarkt im Septum mit pathologischer Q-Welle in den Ableitungen V₁ und V₂ (Ackerman et al., 2018).

Ca. 1-2% der Sportlerinnen und Sportler zeigen eine pathologische Q-Welle, wobei der Prozentsatz bei männlichen sowie dunkelhäutigen Athleten höher zu sein scheint. Tritt die Q-Welle mit einer Tiefe von mehr als 3 mm und einer Dauer von mehr als 40 ms in zwei oder mehr Ableitungen (außer III und aVR) auf, gilt diese bei asymptomatischen Sportlerinnen und asymptomatischen Sportlern als pathologisch. Dieses Kriterium dient v.a. zur richtigen Beurteilung eines vorerst als fälschlicherweise angenommenen, positiven EKGs bei gut trainierten Sportlerinnen bzw. gut trainierten Sportlern mit physiologischer LVH sowie bei dünnen, erwachsenen Athletinnen bzw. dünnen, erwachsenen Athleten, welche erhöhte elektrische Spannungen der Brustwandableitungen und tiefe, laterale oder inferiore Q-Wellen aufweisen können (Ackerman et al., 2018).

Kompletter LBBB

Die Häufigkeit des Auftretens von LBBB ist mit weniger als 1 Fall pro 1000 Sportlerinnen bzw. Sportlern relativ selten – die Diagnose bei Patientinnen bzw. Patienten mit diagnostizierter Kardiomyopathie und ischämischer Herzerkrankung jedoch weit verbreitet.

Trotz allem sollte ein kompletter LBBB vorerst immer als abnormal betrachtet werden, welcher eine umfassende Analyse erfordert, um kardiale Pathologien ausschließen zu können (Ackerman et al., 2018).

Verlängertes QT-Intervall

Das angeborene „Lange-QT-Syndrom“ (Long QT Syndrome – LQTS) ist eine potentiell tödliche, genetisch bedingte, ventrikuläre Arrhythmie, welche durch eine verlängerte QT-Zeit gekennzeichnet ist. Die Prävalenz beläuft sich auf schätzungsweise 1/2000 betroffenen Personen, wobei die Dunkelziffer hoch sein soll, da ein nicht unwesentlicher Teil jener Personen mit scheinbar normalem QT-Intervall bzw. bis dato nicht diagnostiziertem LQTS ebenfalls in diese Patientenkategorie fällt (Ackerman et al., 2018).

Berechnung der korrigierten QT-Intervalle

Die richtige, computerunterstützte Berechnung des QT-Intervalls, korrigiert für die Herzfrequenz (QT interval corrected for heart rate – QTc), muss als kritisch betrachtet werden, da die Rechengenauigkeit nur zw. 90% und 95% liegt. Um das Maß an Genauigkeit zur Bestimmung der QTc-Zeit so hoch als möglich zu halten, wurden die folgenden 6 Prinzipien definiert (Ackerman et al., 2018):

1. Verwenden Sie die Herzfrequenz Korrekturformel von Bazett ($QTc = QT / \sqrt{RR}$; beachten Sie dass das RR-Intervall in Sekunden gemessen wird) bzw. die unter populationsbezogener QTc-Verteilung am häufigsten verwendeten, abgeleiteten Bazett-QTc-Werte.
2. Die Bazett-Formel unterschätzt die QTc-Werte bei Herzfrequenzen unter 50 Schläge/ Min. bzw. überschätzt die QTc-Werte bei Herzfrequenzen über 90 Schläge/ Min.. Folglich wird bei einer Herzfrequenz unter 50 Schlägen/ Min. ein Wiederholungs-EKG nach wenig intensiver, aerober Aktivität empfohlen, um die Herzfrequenz zu steigern (nahe 60 Schläge/ Min.). Bei Herzfrequenzen über 90 Schlägen/

Min. kann ein Wiederholungs-EKG nach einer zusätzlichen Ruhepause helfen, eine niedrigere Herzfrequenz zu erreichen.

3. Im Falle einer Sinusarrhythmie mit schlagweiser Variation der Herzfrequenz sollte ein mittleres QT-Intervall sowie ein mittleres RR-Intervall verwendet werden.

4. Die Ableitungen II und V₅ stellen normalerweise die beste Abgrenzung der T-Welle dar.

5. U-Wellen mit kleiner Amplitude, welche typischerweise in den anterioren Brustwandableitungen auftreten, sollten in die Berechnung der QT-Intervalle nicht mit einbezogen werden. Die “Teach-the-Tangent”- bzw. “Avoid-the-Tail”-Methode sollte angewendet werden, um das Ende der T-Welle abzugrenzen (Abb. 38).

6. Die Morphologie der T-Welle, nicht nur die Länge des QT-Intervalls, kann auch auf das Vorhandensein vom LQTS hinweisen. So kann zum Beispiel eine eingekerbte T-Welle in den lateralen, präkordialen Ableitungen, wo die Amplitude des zweiten Teils der T-Welle nach der Einkerbung größer als der erste Teil der T-Welle ist, eine Indiz auf LQT-2 sein, sogar ohne Präsenz einer offensichtlichen QT-Verlängerung (Ackerman et al., 2018, p.1477).

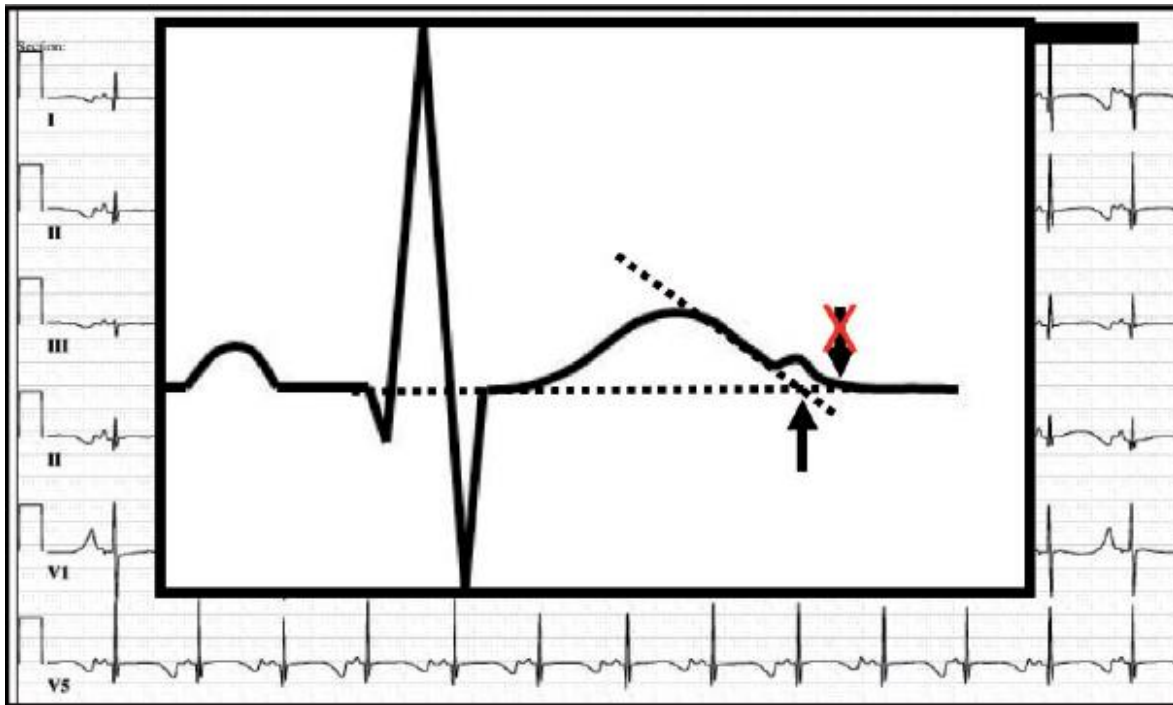


Abb. 38: Diese Abbildung stellt die „Teach-the-Tangent“- bzw. „Avoid-the-Tail“-Methode für die händische Messung des QT-Intervalls dar. Eine gerade Linie ist auf der negativen Steigung der T-Welle im Schnittpunkt mit der isoelektrischen Linie gezeichnet. Die U-Welle ist in die Messung nicht einbezogen (mod. n. Ackerman et al., 2018, p. 1477).

Die einfachste bzw. effizienteste Variante, um die via Computer errechnete QTc-Zeit zu überprüfen, ist die Analyse von Ableitung II und/ oder V₅ sowie die Bestimmung, ob die manuell gemessenen QT-Intervalle mit jenen der bestimmten QT-Zeiten via Computer übereinstimmen (Ackerman et al., 2018).

Ist die Abweichung nicht mehr als 10 ms kann auf die mittels Computer berechnete Genauigkeit, auf Grund des Mittelwerts der RR-Intervalle und durch die vollständige Anwendung der Bazett-Formel, vertraut werden (Ackerman et al., 2018).

Falls der Unterschied zw. dem manuell gemessenen QT-Intervall im Vergleich zu dem errechneten QT-Intervall durch den Computer mehr als 10 ms beträgt, sollte das mittlere RR-Intervall bestimmt und die QTc-Zeit neu durch Anwendung der Bazett-Formel berechnet werden (Ackerman et al., 2018).

Korrigierte QT Cut-Offs

Die Übereinstimmung der QTc-Intervalle einer Population gesunder Individuen im Vergleich zu Patientinnen und Patienten mit diagnostiziertem, genetisch bedingtem LQTS führt dazu, dass die QTc-Cut-Off-Werte in jedem Fall weiteren, sorgfältig ausgewählten

Evaluationsmaßnahmen unterzogen werden müssen, um abnormale Befunde mit positiven Vorhersagewerten für das LQTS von physiologischen Befunden zu differenzieren (Ackerman et al., 2018).

Die neuesten Guidelines für die EKG-Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern definieren eine aufgetretene QTc-Zeit von ≥ 470 ms bei Männern bzw. ≥ 480 ms bei Frauen als ein Kriterium, welches weitere Maßnahmen bei Vorhandensein des LQTS erforderlich macht, um besser zw. irrtümlich angenommenen, positiven bzw. fälschlicherweise hypothetisierten, negativen Befunden zu differenzieren (Ackerman et al., 2018).

Kurzes QT-Intervall

Der genaue Cut-off-Wert eines klinisch relevanten, verkürzten QT-Intervalls bei Sportlerinnen bzw. bei Sportlern ist bis dato unbekannt. In einer Studie (Behr et al., 2016; zit. n. Ackerman et al., 2018, p. 1478) mit 18 000 asymptomatischen, jungen britischen Athletinnen und Athleten wurde eine QTc-Zeit von unter 320 ms bei 0,1% festgestellt. Daraus abgeleitet wurde der Grenzwert für abnormale QTc-Zeiten mit einem Wert kleiner als 320 ms definiert (Ackerman et al., 2018).

Im Zeitraum bis zu einer Folgeuntersuchung 5 Jahre später traten bei keinem der Sportlerinnen bzw. der Sportler mit verkürzter QT-Zeit von unter 320 ms irgendwelche Auffälligkeiten wie Ohnmacht oder plötzlicher Herztod auf. Auf Basis dieser Beobachtung und dem bis dato bestehenden Forschungsbedarf hinsichtlich Langzeit-Morbidität bei asymptomatischen Sportlerinnen bzw. asymptomatischen Sportlern wird eine Folgeuntersuchung einer verkürzten QT-Zeit nur bei auffälligen, klinischen Kennzeichen empfohlen (Ackerman et al., 2018).

Brugada-Syndrom Typ 1

Das Brugada-Syndrom ist eine vererbte, elektrische Grunderkrankung des Herzens, welche mit erhöhtem Risiko für ventrikuläre Tachyarrhythmien sowie mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit des plötzlichen Herztodes während Phasen eines gesteigerten Tonus des N. Vagus einher geht. Liegt das Brugada-Syndrom vor zeigt sich ein dafür typisches Bild im EKG, bestehend aus einer gewölbten „rSr“-Konstellation, einer ST-Strecken-Hebung um ≥ 2 mm sowie einer negativen T-Wellenendung in den Ableitungen V₁, V₂ und V₃ (Abb. 39 F) (Ackerman et al., 2018).

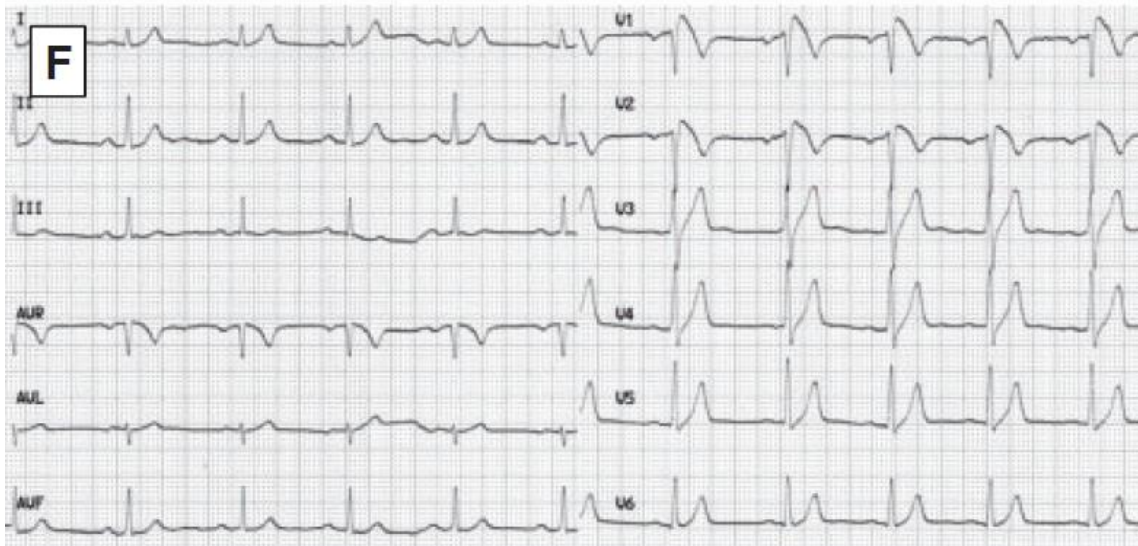


Abb. 39: F: Ein Elektrokardiogramm demonstrierend das Brugada-Syndrom Typ 1 mit erhöhtem Abgang ($\geq 2\text{mm}$) der deszendierenden ST-Streckenhebung gefolgt von einer negativen, symmetrischen T-Welle in V_1 und V_2 (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1473).

Die gewölbte ST-Streckenhebung beim Brugada-Syndrom Typ 1 führt zu einer breiteren R-Zacke und ist normalerweise gut von einer ascendierenden ST-Streckenhebung einer frühen Repolarisation bei Sportlerinnen und Sportlern zu unterscheiden. In diesem Fall misst der „Corrado Index“ die ST-Strecken-Hebung zu Beginn der ST-Strecke/ J-Punkt (ST_J) und 80 ms nach dem Beginn der ST-Strecke (ST_{80}). Beim Brugada-Syndrom Typ 1 zeigt die deszendierende ST-Strecke ein ST_J/ST_{80} -Verhältnis größer 1 während der erste Anstieg des ST-Segments bei früher Repolarisation bei einer Sportlerin bzw. bei einem Sportler ein ST_J/ST_{80} -Verhältnis kleiner 1 ergeben wird (Abb. 40) (Ackerman et al., 2018).

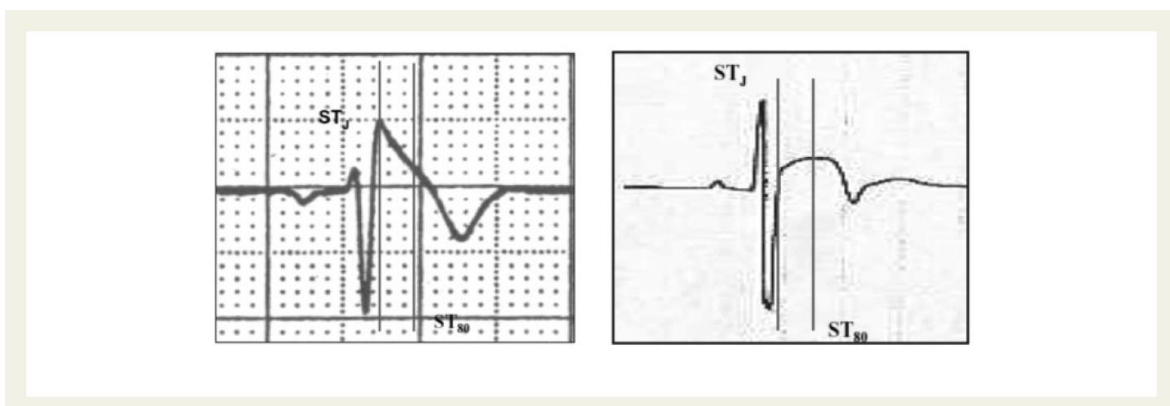


Abb. 40: Das Elektrokardiogramm bei Vorliegen von Brugada-Syndrom Typ 1 (links) sollte von früher Repolarisation mit gewölbter ST-Streckenhebung bei einer trainierten Person (rechts) unterschieden werden. Die vertikalen Linien markieren den J-Punkt (ST_J) und den Zeitpunkt 80 ms nach dem J-Punkt (ST_{80}), für welche die Amplituden der ST-Streckenhebung

berechnet werden. Die deszendierende ST-Streckenhebung beim Brugada-Syndrom kennzeichnet ein ST_J/ST_{80} -Verhältnis größer 1. Die frühe Repolarisation bei einer trainierten Person zeigt eine anfängliche, ascendierende ST-Streckenhebung mit einem ST_J/ST_{80} -Verhältnis kleiner 1 (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1479).

Starke Sinusbradykardie oder AV-Block ersten Grades

Sinusbradykardie sowie die etwas verlängerte PR-Zeit (200–399 ms) sind tolerierte, physiologische Merkmale sportlichen Trainings. Doch auch wenn eine Ruheherzfrequenz von 30 oder weniger Schlägen pro Min. bzw. eine PR-Zeit von mindestens 400 ms bei hochtrainierten Sportlerinnen und Sportlern physiologisch sein kann, sollten sofortige Untersuchungen bzgl. Pathologien des Erregungsleitungssystems des Herzens betreffend gemacht werden (Ackerman et al., 2018).

Hochgradiger Atrioventrikularblock

Der zweitgradige AV-Block Typ Mobitz II und der drittgradige (komplette) AV-Block sind bei Sportlerinnen und Sportlern abnormale Befunde. Ein kompletter Herzblock kann mit einer AV-Dissoziation ohne Block verwechselt werden, wobei bei dieser der AV-Schrittmacher schneller als der Sinusknoten ist, was zu einem Auftreten von mehr QRS-Komplexen als P-Wellen führt (Ackerman et al., 2018).

Unregelmäßige ventrikuläre Komplexe auf Grund von Sinus-P-Wellen (zeigen sich als unregelmäßige, ventrikuläre Reaktion) führen zu keinem kompletten AV-Block. Eine AV-Dissoziation ohne Block ist das Ergebnis einer autonomen Diskrepanz zw. der Regulierung des AV-Knotens mit jener des Sinusknotens. Diese gilt jedoch nicht als pathologisch. So wie bei allen anderen funktionellen Störungen wird leichte, körperliche Beanspruchung (jeweils mit EKG-Aufzeichnung) die AV-Dissoziation im EKG auflösen (Ackerman et al., 2018).

Multiple VES

Multiple VES (PVCs ≥ 2) sind mit einem Vorkommen von weniger als 1% während der 12-Kanal-EKG-Diagnostik bei Sportlerinnen und Sportlern relativ selten (Ackerman et al., 2018).

Obwohl multiple PVCs normalerweise gutartig sind kann deren Auftreten ein Indiz für eine Grunderkrankung des Herzens sein. Während PVCs ihren Ursprung im rechtsventrikulären Ausflusstrakt (LBBB und inferiorer Achsenursprung) haben, werden insbesondere gutartige PVCs genauer untersucht, wenn diese trotz normalem EKG-Bild auftreten. Die Morphologie

dieser gutartigen PVCs kann auch bei Patientinnen und Patienten mit früher ARVC auftreten, insbesondere wenn die Dauer des QRS-Komplexes 160 ms übersteigt. Aus diesem Grund sollten beim Auftreten von ≥ 2 PVCs im EKG unverzüglich weitere Maßnahmen gesetzt werden, um strukturelle Grunderkrankungen des Herzens ausschließen zu können (Ackerman et al., 2018).

Tachyarrhythmien der Vorhöfe

Sinustachykardie ist zwar die häufigste Tachyarrhythmie der Vorhöfe, tritt jedoch sehr selten auf Grund von spezifischen Herzerkrankungen auf. Supraventrikuläre Tachykardie, Vorhofflimmern und Vorhofflattern sind in einem Ruhe-EKG bei Sportlerinnen und Sportlern selten zu beobachten und verlangen weitere medizinische Abklärung (Ackerman et al., 2018).

Tachyarrhythmien der Vorhöfe gelten selten als lebensbedrohlich, können jedoch unter bestimmten Bedingungen zum plötzlichen Herztod bzw. LQTS, zum Wolff-Parkinson-White-WPW, zum Brugada-Syndrom, zur Myokarditis, zum angeborenen Herzfehler als auch zur Kardiomyopathie führen (Ackerman et al., 2018).

Tachykardien bei akzessorischen Leitungsbahnen wurden erstmals von Wolff, Parkinson und White beschrieben. Im 12-Kanal-Oberflächen-EKG findet man auffällige Befunde, da eine Präexzitation der Kammern (vorzeitige Erregung der Kammern) im Sinusrhythmus vorliegt, die zu charakteristischen EKG-Veränderungen führt. Das klassische Präexzitationssyndrom ist das WPW-Syndrom, das nach den Entdeckern Wolff, Parkinson und White benannt wurde. Bei diesem Präexzitationssyndrom liegt eine zusätzliche atrioventrikuläre Muskelverbindung vor, die den elektrischen Impuls, der im Sinusknoten gebildet wird, auf die Kammern überleitet (Schuster & Trappe, 2017, S.99).

Ventrikuläre Arrhythmien

Ventrikuläre Couplets, Triplets und nicht anhaltende ventrikuläre Tachykardien erfordern immer medizinischer Abklärung, da sie Kennzeichen einer Grunderkrankung des Herzens sein können bzw. da sie zu anhaltenden ventrikulären Tachykardien führen können, welche wiederum das Potential haben, einen plötzlichen Herztod zu initiieren (Ackerman et al., 2018).

Erwägungen bei Sportlerinnen und Sportlern über 30 Jahre

Bei Sportlerinnen und Sportlern, welche das 30. Lebensjahr bereits überschritten haben, gilt die koronare Herzkrankheit (KHK) als die häufigste Ursache für den plötzlichen Herztod. Darüber hinaus ist die körperliche Leistungsfähigkeit bei älteren Athletinnen und Athleten tendenziell geringer als in früheren Lebensjahren; das Risiko eine KHK zu erleiden steigt hingegen (Ackerman et al., 2018).

Während die Sensitivität für eine KHK während einem Ruhe-EKG gering ist gibt es dennoch typische EKG-Bilder, welche auf eine vorhandene KHK wie auf TWI, pathologische Q-Wellen, ST-Strecken-Senkung, LBBB, RBBB, abnormale R-Wellen, links-anteriore-Hemiblöcke sowie auf Vorhofflimmern hindeuten können (Ackerman et al., 2018).

EKG-Bilder welche eine fortlaufende Analyse erfordern

Einige typisch, vererbare Kardiomyopathien können als Abnormalitäten im EKG vorrangig zum Beginn einer offensichtlichen Herzmuskelpathologie ersichtlich sein. Aus diesem Grund sollten Sportlerinnen und Sportler mit abnormalem EKG-Erscheinungsbild hindeutend auf eine Kardiomyopathie während als auch nach Beendigung deren sportlicher Karriere neben klinischen Standarduntersuchungen auch medizinische Folgeuntersuchungen, jährlich oder nach individuellen Umständen auch häufiger, durchführen lassen (Ackerman et al., 2018).

Schlussfolgerung

Die genaue Interpretation des EKGs einer Sportlerin bzw. eines Sportlers erfordert ausreichend Übung mit einem guten Auge für das Detail, um physiologische Befunde von pathologischen zu unterscheiden. Die internationalen Richtlinien der EKG-Interpretation

bzw. der Befundung von Abnormalitäten im EKG stellt eine wichtige Grundlage zur Verbesserung der Qualität der kardiovaskulären Versorgung von Sportlerinnen bzw. Sportlern dar. Sofern aktuellere, wissenschaftlich relevante Daten zur Verfügung stehen, ist eine Neuauflage dieser Empfehlungen zur EKG-Interpretation notwendig, um die Genauigkeit der EKG-Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern weiter zu verbessern (Ackerman et al., 2018).

Theoretischer Hintergrund CardioSecur

Einthoven, Goldberger und Wilson trugen zw. 1903 und 1934 maßgeblich zur Entwicklung des herkömmlichen 12-Kanal-EKG-Systems bei, welches noch heute den Goldstandard in Bezug auf die Diagnostik von Minderdurchblutungen des Herzmuskels darstellt. Im Normalfall werden mit Hilfe von 10 Elektroden 12 Kanäle abgeleitet (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Das EASI-Ableitungssystem ist eine jüngere Technologie, welche auf Grund der Vektor-Elektrokardiographie ein dreidimensionales Bild auf das Herz möglich macht. Dafür werden nur 5 Elektroden (4 für die Bildgebung und 1 für die Erdung) verwendet, um die herkömmlichen 12 Kanäle abzuleiten. Die hohe Korrelation zw. dem abgeleiteten EKG-Bild von EASI und einem Standard-12-Kanal-EKG wurde mittlerweile durch etliche Studien überprüft und bestätigt (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Die technische Funktionsweise von CardioSecur beruht auf dem EASI-System, wobei keine gesonderte Elektrode für die Erdung verwendet werden muss. Das Schreiben eines 12-Kanal-EKGs ist somit durch die Verwendung von nur 4 Elektroden möglich. Die hohe Genauigkeit der modernen Diagnostik von CardioSecur im Vergleich zum Golden Standard ist bereits durch klinische Studien (z.B. Bonaventura, Klaus, Wellnhofer & Fleck, 2012) bewiesen (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Durch die Lokalisation der 4 Elektroden wird ein Tetraeder erzeugt, wodurch die Herzaktivität aus allen Winkeln aufgenommen und 22 Ableitungen berechnet werden können (alle klassischen 12 Ableitungen I, II, III, aVR, aVL, aVF, V₁₋₆, sowie V₇₋₉ und VR_{3-VR9}). Das EKG-System von CardioSecur entspricht den Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC) und kann durch die Erfassung zusätzlicher, posteriorer Kanäle bessere Indizien bei Verdacht auf Myokardinfarkt liefern. Um eine Diagnose für Vorhofflimmern zu erstellen wird von den Leitlinien der ESC auch eine 12-Kanal-EKG-Technologie empfohlen. Hierbei stellt CardioSecur das einzige EKG-System dar, welches die 100%-ige Einhaltung der ESC-Leitlinien (für Ärztinnen und Ärzte) möglich macht. Eine große Studienlage (z.B. Hession & Justis, 1992; Liu et al., 1995 & Feinberg et al., 1999) veranschaulicht den Gewinn der Betrachtung zusätzlicher Sichtachsen auf das Herz und birgt Möglichkeiten, die Anzahl verzichtbarer „Ausschluss MI“-Einlieferungen zu senken

(CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Mit Hilfe eines Vergleichs des aktuell, geschriebenen EKGs (beispielsweise via CardioSecur Active) mit einem bereits gespeichertem Referenz-EKG (auch vom ESC empfohlen) können Herzrhythmusveränderungen sowie Myokardischämien mit höchstmöglicher Sensitivität erkannt werden. Das Referenz-EKG wird vom User bei der ersten Inbetriebnahme (z.B. von CardioSecur Active) aufgenommen. Alle weiteren EKG-Aufzeichnungen werden mit diesem Referenz-EKG verglichen. Durch den individualisierten Vergleich ist eine Deutung von Veränderungen im EKG möglich, selbst wenn bereits bei der ersten Inbetriebnahme Anomalien im EKG (z.B. Linksschenkelblock, ST-Abweichung, vorherige myokardial-ischämische Veränderungen) sichtbar sein sollten (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

So fordern z.B. die ESC-Leitlinien für die Diagnose eines akuten ST-Streckenhebung-Myokardinfarkts mindestens 1 mm (0,1 mV) J-Punkt-Hebungen in mindestens zwei anatomisch benachbarten Ableitungen (mit Ausnahme von V₂-V₃, bei dem die Kriterien einer Erhöhung von >0,2 mV bei Männern > 40, >0,25 mV bei Männern < 40 und >0,15 mV bei Frauen erfüllt sein müssen) (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.).

Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018, S.3).

Falls EKG-Veränderungen den Kriterien der ESC entsprechen, bekommt der User ein Feedback über die CardioSecur-App, ob unmittelbare medizinische Hilfe notwendig ist. Auch pseudo-normalisierte EKG-Veränderungen können mit Hilfe des personalisierten EKG-Vergleichs erkannt werden, speziell jene welche das ST-Segment und die T-Welle betreffen. Auch kann beispielsweise durch die regelmäßige Verwendung von CardioSecur eine „stille“ myokardiale Ischämie bei Personen ohne jeglichen Symptomen erkannt werden (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Einfluss verschiedener EKG-Modelle auf die Diagnoseleistung

Das EASI-Ableitungssystem ist im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG im Hinblick auf die diagnostischen Möglichkeiten mindestens gleichgestellt, wenn nicht sogar auf Grund der mehrfachen Ableitungen durch bloß 4 Elektroden höher einzustufen. Durch die unterschiedliche Anzahl sowie Positionierung der Elektroden sind minimale, charakteristische Differenzen zw. den beiden Systemen vorprogrammiert, welche sich v.a. in Hinblick auf die absolute Amplitude oder in Bezug auf die Achsen widerspiegeln. Für die Befundung des EKGs sind diese Unterschiede allerdings von keiner medizinischen Relevanz. Diese Erkenntnis konnte bereits mehrfach durch klinische interne als auch externe Studien bei einem Vergleich der beiden Ableitungssysteme nachgewiesen werden (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Vorteile von CardioSecur vs. den Gold Standard

Durch CardioSecur besteht die Möglichkeit, Veränderungen im EKG v.a. bei Personen mit Herzerkrankungen vorzeitig zu erkennen und in dessen Folge weitere, ungünstige kardiale Ereignisse durch eine frühzeitige Intervention zu verhindern. In Anbetracht des Diagnostizierens der Vorkommnis bzw. des Nicht-Vorhandenseins einer Ischämie liefert CardioSecur eine mehr als 99-prozentige Konvergenz mit dem Standard-12-Kanal-EKG. Eine 100-prozentige Übereinstimmung im Hinblick auf die Lokalisation von Myokardischämien kann zw. dem System von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG nachgewiesen werden (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Zusätzlich können durch die Nutzung von 22 Kanälen zum ersten Mal die Leitlinien der ESC und der American Heart Association (AHA) zur Gänze von Fachärztinnen und Fachärzten eingehalten werden, da somit auch die verlangte Analyse der rechten, linken sowie hinteren Herzwand durchgeführt werden kann. Besteht ein Verdacht auf einen Infarkt und liegt scheinbar kein pathologisches 12-Kanal-EKG vor wird die Aufzeichnung zusätzlicher Ableitungen (V₇-V₉, VR₃ sowie VR₄) von der ESC empfohlen. CardioSecur ermöglicht als einziges EKG-System eine Umsetzung der Leitlinien bei einer synchronen Standard-EKG-Messung, ohne dass Elektroden neu platziert werden müssen. Darüber hinaus bietet das

EKG-System von CardioSecur die im Folgenden angeführten Vorteile (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018):

Die Verwendung von nur 4 erforderlichen Elektroden führt zu geringeren muskulären Artefakten, einer stärkeren Signalstabilität bei Änderung der Körperposition, geringerem Zeitaufwand beim Anlegen der Elektroden sowie weitere Zeitersparnis, da die Elektroden nur einmalig angebracht werden müssen. Außerdem muss sich die Patientin bzw. der Patient nicht bewegen, um zusätzliche Ableitungen zu erhalten, die klinisch relevant sein könnten (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Die Elektroden von CardioSecur werden an sehr ausgeprägten Orten des Brustkorbs angebracht. Dadurch ist die Gefahr, die Elektroden an falschen Stellen zu positionieren, stark vermindert (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Bei Personen, welche Symptome eines Herzinfarkts zeigen, kann durch die Analyse der Hinterwandableitungen ein potentieller Hinterwandinfarkt diagnostiziert und in dessen Folge eine sofortige Reperusionsbehandlung eingeleitet werden. Falls in den Ableitungen V₇-V₉ und VR₃-VR₉ isolierte ST-Streckenveränderungen zu beobachten sind kann auf einen akuten Hinterwandinfarkt geschlossen werden. Eine frühe Erkenntnis dieser EKG-Veränderungen ist essentiell für eine adäquate Triage bzw. Versorgung von Personen mit ischämischen Thoraxschmerzen, welche allerdings keine ST-Streckenveränderungen im Standard-12-Kanal-EKG aufweisen (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Mit Hilfe eines 22-Kanal-EKGs kann die Zahl vermeidbarer „Ausschluss-Myokardinfarkt“-Aufnahmen drastisch gesenkt werden. Durch das EKG-System von CardioSecur können die im Folgenden angeführten Punkte exakt diagnostiziert als auch lokalisiert werden (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018):

- o „Akuter STEMI
- o NSTEMI
- o Alte Infarkte
- o Angioplastie-induzierte Ischämien
- o Arrhythmien
- o Herzintervallmessungen
- o Intraventrikuläre Leitungsstörungen (z.B. Schenkelblöcke)

o Wolff-Parkinson-White Syndrom (WPW)” (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018, S.4)

Den akuten ST-Strecken-Hebungs-Infarkt (STEMI) kennzeichnet eine ST-Strecken-Hebung, der Nicht-ST-Strecken-Hebungs-Infarkt (NSTEMI) weist keine ST-Strecken-Hebungen auf. Bei letzterem ist jedoch das Troponin erhöht und daher eine Infarktdiagnose möglich (Schuster & Trappe, 2017).

Charakteristische Unterschiede zwischen CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG

1. R-Zacke: bei CardioSecur gibt es einen leichten Amplitudenunterschied, dieser hat **keine diagnostische Auswirkung**. Der Verlauf der R-Zacke wird nicht beeinflusst.
2. T-Welle: bei CardioSecur gibt es einen leichten Amplitudenunterschied, **ohne morphologische Ausprägung**. Das hat keine diagnostischen Auswirkungen.
3. Q-Zacke: bei CardioSecur sind diese in der Regel **etwas tiefer**, aber nicht breiter in den Ableitungen der unteren Herzwand. Dies hat **keine diagnostischen Auswirkungen**.
4. Übergewichtige Patienten: bei CardioSecur gibt es einen minimalen Unterschied in der Achse. Dies hat **keinen Einfluss auf die Ischämiediagnose**. (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018, S.5)

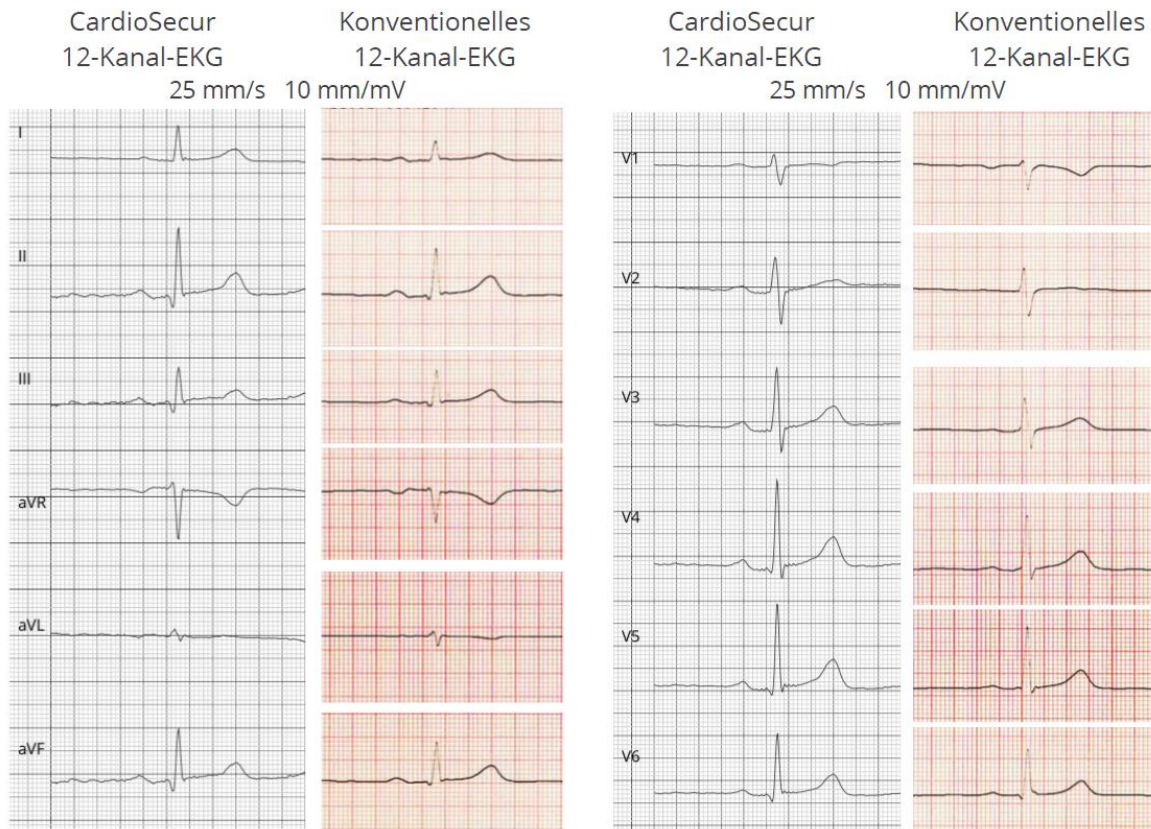


Abb. 41: Charakteristische Unterschiede zwischen CardioSecur und einem konventionellen 12-Kanal-EKG (mod. n. CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018, S.5).

CardioSecur und das Brugada Syndrom

Da für die Diagnostizierung des Brugada Syndroms die höher positionierten Brustwandableitungen benötigt werden, kann das EKG von CardioSecur diesbezüglich keine Indizien liefern (CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018).

Weitere ausgewählte Smartphone-basierte EKG-Systeme im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG

Diagnostische Genauigkeit eines Smartphone-basierten EKGs im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG unter klinischen Bedingungen

Die vielfältigen Fähigkeiten von Smartphones in Bezug auf Gesundheitsmonitoring versuchen sich zahlreiche Firmen zu Nutze zu machen. Der Bereich der Kardiologie wird zunehmend von Smartphone-basierenden Tools zur Analyse des Herzrhythmus beeinflusst. Ein Smartphone-basierter 1-Kanal-EKG-Rekorder (Smartphone-based Electrocardiogram Recorder – S-ECG-R) wurde als kleines, mobiles, langlebiges Tool zur Aufzeichnung von EKG-Daten konstruiert, welche ohne Verwendung eines Kabels ans Smartphone gelangen. Durch die Positionierung der Finger auf den Elektroden kann via einer App der Herzrhythmus aufgezeichnet werden, welcher anschließend als PDF-File gespeichert bzw. via Email versendet werden kann (Alanazi, Masud & Towhari, 2019).

Die diagnostische Genauigkeit mobiler, Smartphone-basierter EKG-Geräte scheint unklar zu sein, weshalb Kardiologinnen und Kardiologen trotz des immensen Potentials kritisch gegenüber der Verwendung im Setting mit Patientinnen und Patienten stehen. Die Verwendung des S-ECG-R könnte im Fall, dass das Standard-12-Kanal-EKG nicht verfügbar ist, dennoch von hoher klinischer Relevanz bei der Diagnostizierung von Arrhythmien sein (Alanazi et al., 2019).

Die Handhabbarkeit, diagnostische Genauigkeit in Bezug auf die Feststellung von Arrhythmien, als auch das Preis-Leistungsverhältnis des S-ECG-R wurde mittlerweile in zahlreichen Studien überprüft. Die Kollegen Lau et al. (2013) untersuchten beispielsweise die Fähigkeit von S-ECG-R, Vorhofflimmern zu diagnostizieren, welche sie mit 98%-iger Sensitivität, 97%-iger Spezifität sowie 97%-iger Gesamtgenauigkeit publizierten. Ähnlich konnten Lowres et. al. (2015) im Rahmen einer Studie mit 1000 Personen über 65 Jahren, welche regelmäßig die Apotheke aufsuchen, mittels des S-ECG-R bei 1,5% bis dato unbekanntes Vorhofflimmern bzw. Vorhofflattern mit einer Sensitivität von 100% sowie 97%-iger Spezifität diagnostizieren (Alanazi et al., 2019).

Saudi-Arabien steht bei der Verwendung von Smartphones mit einem durchschnittlichen Besitz von 1,6 Smartphones pro Person weltweit betrachtet an dritter Stelle, wobei die Tendenz steigt. Auf Grund der Tatsache, dass die Studienlage in Saudi Arabien allerdings

kein großes Augenmerk auf die diagnostische Nützlichkeit von S-ECG-R legt, sind die Kardiologinnen und Kardiologen vor Ort weitgehend zögerlich bei der Verwendung in Hinblick auf die Diagnostizierung bzw. die Überwachung von Herzrhythmusstörungen (Alanazi et al., 2019).

Um die diagnostische Genauigkeit von S-ECG-R bei der Aufdeckung von Arrhythmien im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG zu überprüfen wurden EKG-Daten in einem der größten Gesundheitszentren in Saudi Arabien (King Abdulaziz Medical City (KAMC)) im Zeitraum von Dezember 2017 bis Februar 2018 gesammelt. Sowohl das mobile als auch das herkömmliche EKG wurde für eine simultane Messung von qualifiziertem Personal angelegt. Falls die Situation keine simultane Aufnahme erlaubte, fand das Schreiben der EKGs in einer zeitlichen Differenz von ≥ 5 s bis maximal 2 Min. statt (Alanazi et al., 2019).

Nach schriftlicher Einwilligung wurden all jene Patientinnen bzw. Patienten in die Studie eingeschlossen, welche keinen gravierenden Handtremor aufwiesen (da ansonsten die Positionierung der Finger auf dem Messgerät schwierig werden würde; Ausschluss von 30 Patientinnen bzw. Patienten). Ausgeschlossen wurden außerdem jene, welche massive Armschwäche oder Lähmungserscheinungen aufwiesen (12 Patientinnen bzw. Patienten), amputierte Hände hatten (2 Patientinnen bzw. Patienten) als auch jene mit einem Herzschrittmacher, jene welche sich in kardialer Resynchronisierungstherapie befanden oder einen implantierten Defibrillator hatten (10 Patientinnen bzw. Patienten) (Alanazi et al., 2019).

Bei allen Studienteilnehmerinnen bzw. Studienteilnehmern wurde zuerst das Standard-12-Kanal-EKG, dann das mobile S-ECG-R geschrieben. Insgesamt wurden 806 EKGs (403 mittels des Standard-12-Kanal-EKGs und 403 mittels des mobilen S-ECG-R) geschrieben. Es gab doppelt so viele Normalbefunde wie abnormale EKGs, wobei 1/3 der Stichprobe abnormale Fälle bilden sollten (Alanazi et al., 2019).

Die Herzaktivität wurde mittels des Standard-12-Kanal-EKGs für 10 s aufgenommen. Als mobiles, Smartphone-basiertes EKG wurde der AliveCor Kardia (S-ECG-R) verwendet, welcher die Herzaktivität ohne die Verwendung eines Kabels an das Mobiltelefon (iPhone als auch Android) sendet. Via der „Kardia“-App ist eine patientenfreundliche Analyse des EKGs möglich (Alanazi et al., 2019).

Beim S-ECG-R wird mittels 2 Elektroden die elektrische Differenz zw. dem rechten und dem linken Arm registriert, welche demnach eine vergleichbare Ableitung der Ableitung I

des Standard-12-Kanal-EKGs erzeugt. Den Testpersonen wurden einfache Instruktionen zur Verwendung des mobilen EKGs gegeben, welches in beiden Händen zur Aufzeichnung der Herzaktivität gehalten wurde. Die mittlere Aufzeichnungsdauer betrug 30 s, es sei denn die Testperson nahm ihre Finger von den dafür vorgesehenen Kontaktflächen vorzeitig herunter. In diesem Fall wurde die Aufzeichnung automatisch unterbrochen und die Patientin bzw. der Patient war angehalten, den Vorgang noch einmal von neu zu starten (Alanazi et al., 2019).

Nach der ersten Datenerhebungsphase wurden die insgesamt 806 erhaltenen EKG-Streifen nach Zufallsprinzip gleichermaßen auf 6 Kardiologinnen bzw. Kardiologen zur Interpretation aufgeteilt. Jeder Kardiologin bzw. jedem Kardiologen wurden Softkopien der 134 EKG-Aufzeichnungen ausgehändigt, wobei 50% davon Standard-12-Kanal-EKGs und die anderen 50% EKGs des mobilen S-ECG-R darstellten. In der folgenden Graphik (Abb. 42) wird beispielsweise das EKG einer 64-jährigen Frau, aufgenommen mit dem Standard-EKG (A) als auch mit dem mobilen EKG (B), vergleichsweise dargestellt (Alanazi et al., 2019).

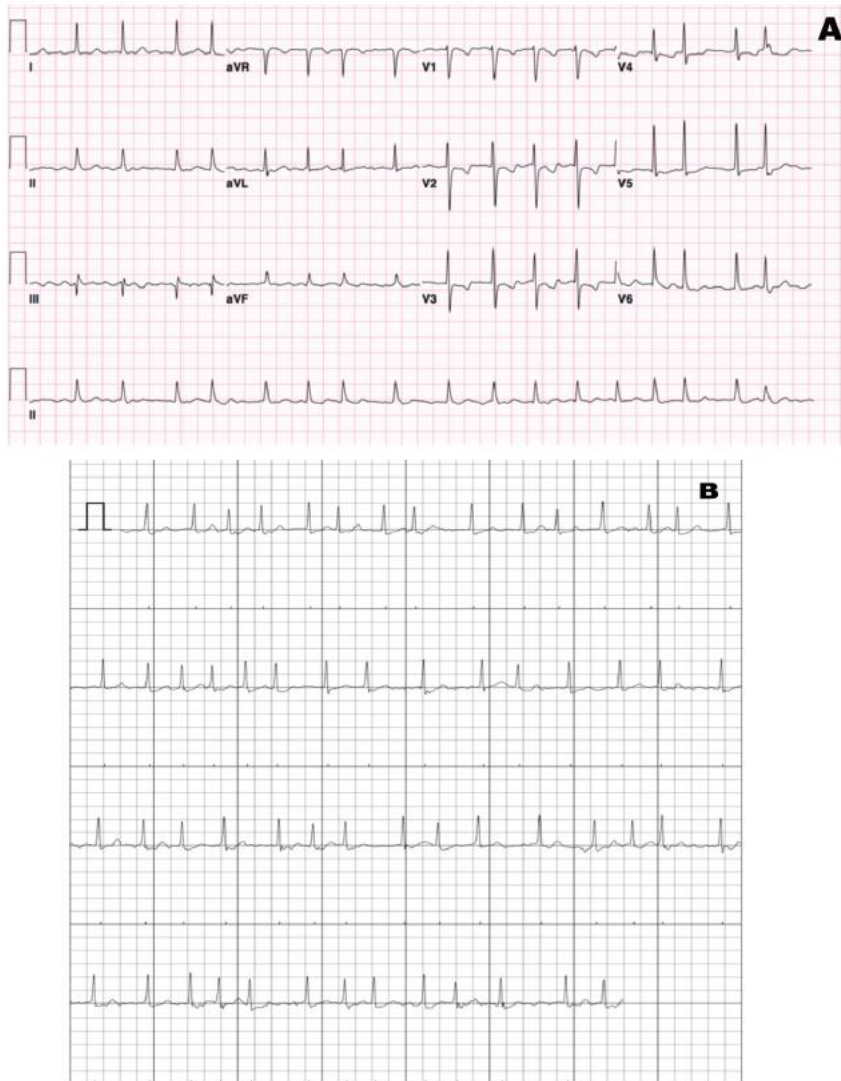


Abb. 42: EKG-Aufzeichnung einer 64-jährigen Frau mit Beschwerden von Herzpochen und diagnostiziertem Vorhofflimmern mit schneller, ventrikulärer Reaktion aufgenommen mit (A) Standard-EKG (B) S-ECG-R (Smartphonebasierter-EKG-Rekorder) (mod. n. Alanazi et al., 2019, p.577).

Die EKGs wurden zur Interpretation so durchmischt, dass die Kardiologin bzw. der Kardiologe nicht sowohl das Standard-12-Kanal-EKG als auch das mobile EKG der selben Person erhielt, um eine mögliche Voreingenommenheit der Interpretation auszuschließen. Klinische, patientenspezifische Informationen wurden den Kardiologinnen und Kardiologen vorenthalten. Außerdem wurde auf automatisierte Interpretationen verzichtet. Die Kardiologinnen und Kardiologen sollten ausschließlich Abnormalitäten des Herzrhythmus feststellen und keine ST-T-Wellen Veränderungen oder andere Abnormalitäten (mit Ausnahme von Rhythmusstörungen), da diese nur von dem 12-Kanal-EKG aufgezeichnet werden können (Alanazi et al., 2019).

Jede EKG-Aufzeichnung wurde von den Kardiologinnen bzw. den Kardiologen mittels 4 Fragen beurteilt (Alanazi et al., 2019):

1. „Ist der Rhythmus normal oder abnormal?
2. Was ist die exakte Diagnose/ Rhythmusinterpretation?
3. Wie hoch war die Selbstsicherheit bei der Diagnoseerstellung?
4. Wie hoch ist die Zufriedenheit mit der Rhythmusqualität?“ (Alanazi et al., 2019, p.578)

Punkt 3 und 4 wurden mittels einer Likert-Skala bewertet, wobei 1 für die geringste und 5 für die höchste Selbstsicherheit bzw. Zufriedenheit stand (Alanazi et al., 2019).

Die diagnostische Genauigkeit wurde an Hand von der Sensibilität, Spezifität und der positiven bzw. negativen Wirksamkeit gemessen. Das Signifikanzniveau wurde mit 0,05 für alle statistischen Tests festgelegt (Alanazi et al., 2019).

In die Auswertung der unterschiedlichen EKG-Monitorings konnten alle 806 EKGs (403 des Standard-12-Kanal-EKGs und 403 des mobilen S-ECG-R) mit einbezogen werden. Beinahe die Hälfte der Studienteilnehmerinnen bzw. der Studienteilnehmer war männlich; das Alter betrug im Mittel 52 ± 18 Jahre. Der Großteil der Teilnehmerinnen bzw. Teilnehmer zeigte während der Untersuchung keine Symptome. 28 Patientinnen bzw. Patienten (8%) klagten über Beschwerden wie z.B. Schmerzen in der Brust oder Kurzatmigkeit während der EKG-Messung. Bei 254 (63%) der geschriebenen EKGs konnte ein normaler Sinusrhythmus festgestellt werden, wohingegen die restlichen 149 EKGs (37%) als abnormal befundet wurden. Vorhofflimmern (46 bzw. 11%), Sinustachykardie (35 bzw. 9%) und VES (33 bzw. 8%) stellten die häufigsten Diagnosen der abnormalen EKGs dar (Tab. 4) (Alanazi et al., 2019).

Tab. 4: Eigenschaften der Studienteilnehmerinnen bzw. der Studienteilnehmer

Variables	n	(%)
Age mean $\pm$ SD	18 $\pm$ 52	
Age median (IQR)	55 (41,62)	
<i>Gender</i>		
Male	211	(52.4)
Female	192	(47.6)
<i>Nationality</i>		
Saudi	374	(92.8)
Non-Saudi	29	(6.80)
<i>Source of patient</i>		
OPD	96	(23.8)
Cardiac wards	166	(41.2)
ED	135	(33.5)
EP lab	4	(1.0)
CCU	2	(0.5)
<i>Symptoms</i>		
None	375	(93.1)
Shortness of Breath	9	(2.2)
Chest Pain	16	(4.0)
Dizziness	3	(0.7)
<i>ECG rhythms diagnosis</i>		
Normal sinus rhythm	254	(63)
Sinus bradycardia (HR below 60 bpm)	21	(5)
Sinus tachycardia (HR above 100 bpm)	35	(9)
Sinus rhythm with premature ventricular contraction/s	33	(8)
Sinus rhythm with premature atrial contraction/s	3	(1)
Atrial fibrillation	46	(11)
Atrial flutter	3	(1)
2nd degree AV block Mobitz type I	3	(1)
Supraventricular tachycardia	5	(1)
SD - standard deviation, HR - heart rate, CCU - Coronary Care Unit, EP - ElectroPhysiology laboratory, ED - Emergency Department, OPD - Out Patients Department		

Quelle: Alanazi et al., 2019, p.578

Die Analyse ergab in Summe ähnliche diagnostische Werte beim Vergleich des mobilen S-ECG-R-Rhythmus mit dem des Standard-12-Kanal-EKGs (Sensibilität: 97,3% vs. 98%; Genauigkeit: 99,6% vs. 99,6%) (Alanazi et al., 2019).

Die meisten Standard-EKGs (364; 91%) wurden mit hoher Selbstsicherheit diagnostiziert. Im Vergleich dazu waren es beim mobilen S-ECG-R nur 286 (71%). Von den je EKG-Gerät geschriebenen 403 Rhythmen wurde in 382 (90%) der Aufnahmen des Standard-EKGs bzw. in 333 (82%) der Aufnahmen des mobilen S-ECG-R eine adäquate Rhythmusqualität verzeichnet. Mit der Interpretation von 22 (5%) EKGs des mobilen S-ECG-R waren die Fachärztinnen bzw. Fachärzte unzufrieden. Beim Standard-12-Kanal-EKG waren es hingegen nur 2 Streifen (0,5%) (Alanazi et al., 2019).

Werden die erzielten Forschungsergebnisse zusammengefasst kann daraus abgeleitet werden, dass das via Smartphone diagnostizierte EKG eine gute diagnostische Genauigkeit in Bezug auf Arrhythmien bei Patientinnen bzw. bei Patienten ohne Tremor im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG aufweist. Der Gebrauch des mobilen EKGs in ambulantem Setting macht möglicherweise die Diagnose von Arrhythmien möglich, falls andere diagnostische Tools zu keinem Befund gelangen (Alanazi et al., 2019).

Smartphonebasiertes 4-Kanal-EKG (D-Heart) als kostengünstige Alternative im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG

Der Bereich der kardiovaskulären Medizin erfährt durch den Einsatz von mobilen Gesundheitstechnologien eine Art Revolution. Durch die globale Verwendung von Smartphones verändern sich die Möglichkeiten der Diagnostik schlagartig, da so simpel genügend gesundheitsrelevante Daten erhoben werden können, mit dem Unterschied, dass der User ortsungebunden im Vergleich zur persönlichen Anwesenheit in medizinischen Einrichtungen bleibt (Avvantaggiato et al., 2017).

Während in Industriestaaten immer neuere, mobile Gesundheitstechnologien entwickelt werden hat vergleichsweise der Gebrauch der m-Health-Technologien in Staaten mit niedrigem bis mittlerem Einkommen jenen in wohlhabenden Industrienationen übertroffen. Da Entwicklungs- bzw. Schwellenländer auf Grund von mangelnder Infrastruktur, ungenügender, personeller Ressourcen sowie schwach ausgeprägten Logistik in den Möglichkeiten der Gesundheitsvorsorge eingeschränkt sind, könnte der Einsatz von Smartphone-basierter Gesundheitstechnologie eine einfache als auch leistbare Möglichkeit zur genauen Überwachung von gesundheitsrelevanten Parametern als auch zur Diagnoseerstellung genützt werden (Avvantaggiato et al., 2017).

Nicht übertragbarer Krankheiten (v.a. kardiovaskulär) erlangen einen immer höheren Stellenwert in Entwicklungsländern, wobei die Qualität der Risikoeinschätzung und frühen Diagnoseerstellung bislang unbefriedigend ist. Der Zugang zu einem billigen, benutzerfreundlichen (smartphonebasiertem) EKG-Tool, welches die Qualität eines Standard-EKGs erfüllt, ist immer noch keine Möglichkeit für jede Person mit potentielltem Gesundheitsrisiko. Der „D-Heart-Elektrokardiograph“ wurde für iOS- als auch Android-Systeme mit dem Hintergrund entwickelt, die Erfassung des elektrischen Signals mittels 5 Oberflächen Elektroden (3 peripher, 1 Brustwandableitung (V₅)) sowie die Signalübertragung auf ein Smartphone via Bluetooth zu ermöglichen (Abb. 43) (Avvantaggiato et al., 2017).

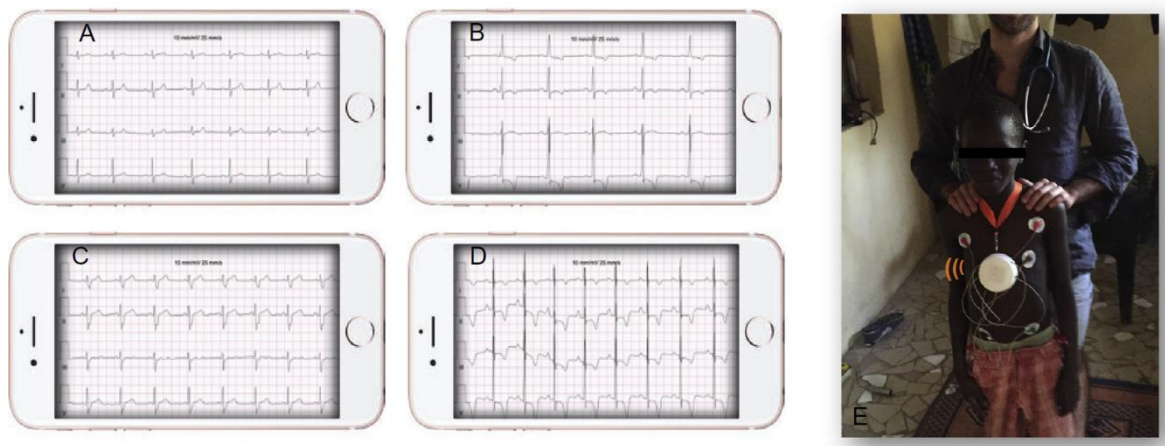


Abb. 43: D-Heart-Systemkonfiguration: Bild A, B, C und D repräsentieren unterschiedliche EKGs von D-Heart wie auf dem Smartphone gezeigt. Bild E zeigt einen Patient im Kindesalter mit D-Heart-EKG-Tool (mod. n. Avvantaggiato et al., 2017, p.250).

Auf Grund der potentiellen, positiven Auswirkungen der Kommerzialisierung dieses Tools in Entwicklungsländern wurde der D-Heart-Elektrokardiograph im Vergleich zu einem Standard-12-Kanal-EKG in einem Spital in Senegal validiert, wobei die Genauigkeit der Kanäle der beiden EKGs in Bezug auf morphologische Abnormalitäten analysiert wurden (Avvantaggiato et al., 2017).

Hierfür wurde bei Patientinnen und Patienten der Abteilungen Radiologie und Chirurgie des „Ziguinchor Hospital“ in Senegal eine Routineuntersuchung im Zeitraum von Jänner bis Februar 2016 durchgeführt. Die Aufnahmen von D-Heart als auch vom Standard-12-Kanal-EKG wurden bei jeder Testperson hintereinander in einem Zeitraum von 2-5 Min. gemacht. Schwere EKG-Abnormalitäten wurden mittels einer halbquantitativen Scala basierend auf 9 Kriterien (abnormaler Herzrhythmus, QRS-Dauer ≥ 100 ms, Romhilt-Estes-Score (R-E) ≥ 5 , faszikulärer Block bzw. Schenkelblock, ST-T- Abnormalitäten, ST-T-Segment-Erhöhung $\geq 0,2$ mV, verlängertes QTc-Intervall, pathologische Q-Welle und Fehlen der normalen Q-Welle) definiert (Avvantaggiato et al., 2017). „The Romhilt-Estes (R-E) Score was one of the early efforts to improve the ability of the ECG to detect increased left ventricular (LV) mass, and was developed before any imaging technologies other than radiography were available.“ (Estes, Li, Soliman, Tereshchenko & Zhang, 2016, p.2)

Die EKGs wurden in 4 Gruppen zugeordnet: normal (0 aufgetretene Kriterien), leicht abnormal (1-3 aufgetretene Kriterien), mäßig abnormal (4-6 aufgetretene Kriterien) und deutlich abnormal (7-9 aufgetretene Kriterien) (Avvantaggiato et al., 2017).

Die EKG-Aufnahmen von D-Heart wurden von 2 Kardiologinnen bzw. Kardiologen beurteilt um Abnormalitäten festzustellen. 2 weitere Kardiologinnen bzw. Kardiologen analysierten die Streifen des Standard-EKGs (Avvantaggiato et al., 2017).

Insgesamt nahmen 117 Patientinnen bzw. Patienten afrikanischer Herkunft (69 männlich/ 48 weiblich, Durchschnittsalter 39 ± 11 Jahre) mit einem mittleren Blutdruck von $119 \pm 21 / 78 \pm 9$ mmHg (Millimeter Quecksilbersäule) an der Studie teil. Bei 8 Patientinnen bzw. Patienten (7%) wurde eine Hypertonie festgestellt, wohingegen 5 Patientinnen bzw. Patienten (4%) eine Erkrankung der Koronararterien aufwies. Die Herzrhythmusstreifen des mobilen EKGs von D-Heart wurden mit jenen des Standard-12-Kanal-EKGs verglichen und folgendermaßen klassifiziert (Tab. 5) (Avvantaggiato et al., 2017):

Tab. 5: Kategorisierung der mobilen EKGs (D-Heart) und der Standard-12-Kanal-EKGs in „normal“, „leicht abnormal“ und „mittelmäßig abnormal“

	D-Heart	Standard-12-Kanal-EKG
normal	72 (61%)	69 (59%)
leicht abnormal	42 (36%)	45 (38%)
mittelmäßig abnormal	3 (3%)	3 (3%)

Quelle: Avvantaggiato et al., 2017, p.251

Die Kardiologinnen bzw. Kardiologen waren sich bei der Beurteilung der D-Heart-EKGs in 116/117 Fällen (99%) einig. Im Vergleich zu der Kategorisierung der 12-Kanal-EKGs lag ihre Übereinstimmung hier bei 115/117 EKG-Streifen. Im Fall von Uneinigkeiten wurden sowohl die entsprechenden mobilen EKG-Streifen als auch jene des Standard-12-Kanal-EKGs einer weiteren Spezialistin bzw. einem weiteren Spezialisten zur Beurteilung vorgelegt. Der gewichtete Cohens Kappa (kw)-Test zeigt eine Übereinstimmung von 95,2% ($p < 0,001$) mit einer Übereinkunft von 98,72% zw. den beiden Methoden (Avvantaggiato et al., 2017).

Demnach war das Standard-12-Kanal-EKG sensibler bei der Beurteilung leichter Abnormalitäten. Eine 100%-ige Übereinstimmung wurde bei der Beurteilung der mittelmäßig, abnormalen EKGs erreicht (Avvantaggiato et al., 2017).

Die Konkordanz für den R-E-Score war ebenfalls hoch ($k_w = 0,893$; $p < 0,001$). Der Vergleich der PR- und QRS- Intervalle zeigte exzellente Konkordanz bei Verwendung vom D-Heart-EKG (95%-ige Übereinstimmung) (Avvantaggiato et al., 2017).

Hiermit konnte gezeigt werden, dass die Verwendung des D-Heart-EKG-Tools als genaue Risikoabschätzung von EKG-Abnormalitäten im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG eingesetzt werden kann, was sich v.a. auch in Settings geringer finanzieller Ressourcen bewährt. Neuartige, Smartphone-basierende Techniken eröffnen somit vielversprechende Möglichkeiten für kostengünstige, kardiovaskuläre Untersuchungsmethoden (Avvantaggiato et al., 2017).

Statistische Datenanalyse

Die statistische Analyse der erhobenen Daten inklusive graphischer Veranschaulichungen wurde mit Hilfe des Computerprogramms „IBM SPSS Statistics 26“ durchgeführt. Um die Anonymität der Testpersonen zu gewährleisten wurde die bei der Datenerhebung angewandte Pseudonymisierung für die weiteren Arbeitsschritte mit einem anderen Code ersetzt, welcher nur dem Verfasser dieser Masterarbeit bekannt und auf dessen privaten, passwortgeschützten Laptop gespeichert ist. Alle vorliegenden Daten wurden durch Anwendung des Kolmogorov–Smirnov–Test auf Normalverteilung überprüft. Da auf Grund des Kolmogorov–Smirnov–Test eine Normalverteilung bei allen untersuchten Parametern angenommen werden kann wurde jeweils der T-Test für gepaarte Stichproben zur Testung auf Unterschiede angewendet. Das Signifikanzniveau bzw. die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit 0,05 festgelegt und dient als Vergleich der ermittelten p-Werte, wobei ein p-Wert kleiner 0,05 als signifikanter Unterschied zu interpretieren ist.

Stichprobengröße

Da vom Gesamtkollektiv der ursprünglich geplanten 100 Testpersonen nur von 21 Personen Daten vorliegen (Grund ist der Ausbruch der Corona-Pandemie und die Unzugänglichkeit des Labors des ÖISM für Studierende (Ort der empirischen Studie)), konnten nur die vorhandenen Daten der 21 Personen für die statistische Datenanalyse berücksichtigt werden.

Forschungsfrage, Nullhypothese und Alternativhypothese

Bezugnehmend auf die im Rahmen der Studie zu untersuchende Forschungsfrage – Gibt es einen Unterschied in den EKG-Parametern (HF, RR-Intervalle, PQ-Zeiten, QRS-Komplex, QT/QTc-Zeit, T-Negativierung) zwischen einem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG und einem Standard-12-Kanal-EKG? – wurde die im Folgenden angeführte Nullhypothese (H0) bzw. Alternativhypothese (H1) generiert.

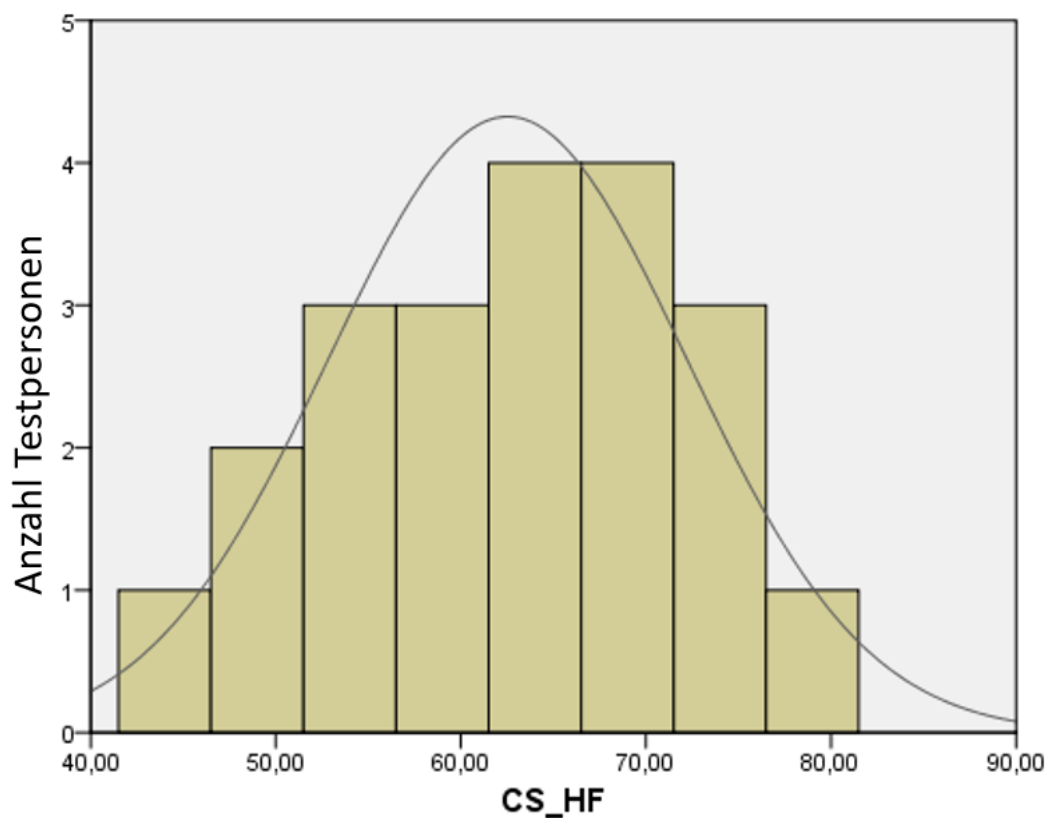
H0: Es besteht kein Unterschied in den EKG-Parametern (HF, RR-Intervalle, PQ-Zeiten, QRS-Komplex, QT/QTc-Zeit, T-Negativierung) zwischen einem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG und einem Standard-12-Kanal-EKG.

H1: Es besteht ein Unterschied in den EKG-Parametern (HF, RR-Intervalle, PQ-Zeiten, QRS-Komplex, QT/QTc-Zeit, T-Negativierung) zwischen einem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG und einem Standard-12-Kanal-EKG.

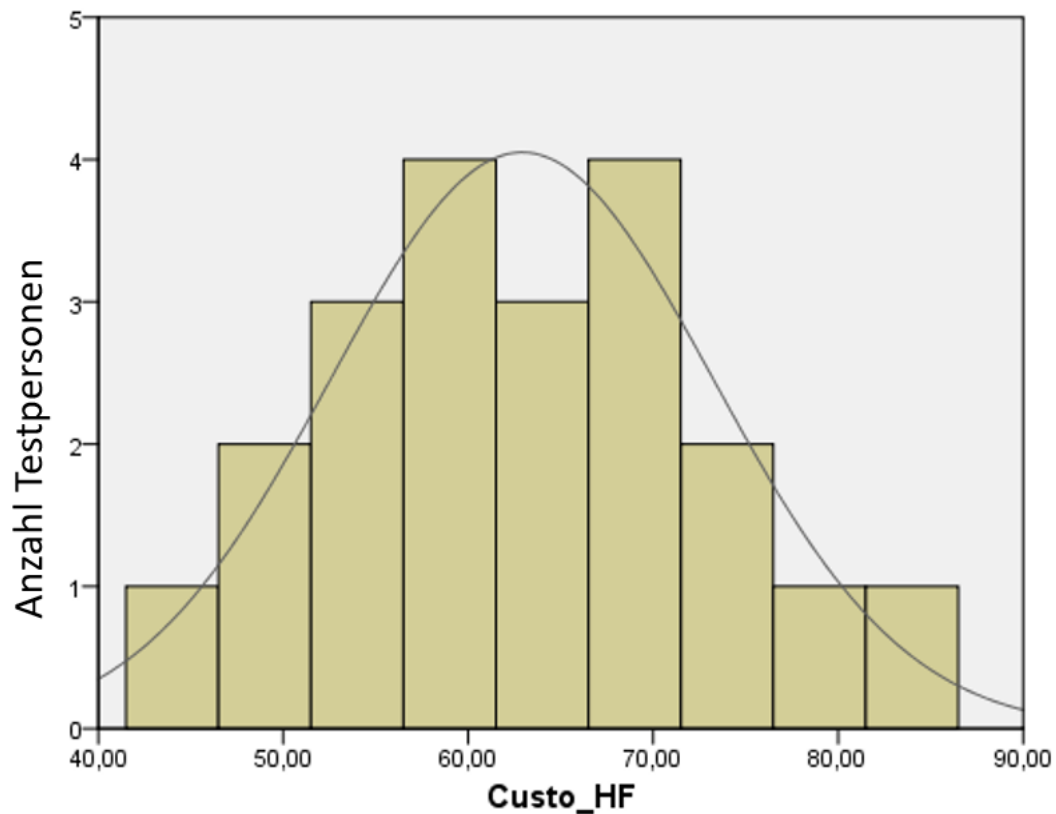
Testung auf Normalverteilung als Voraussetzung für den T-Test

Die Überprüfung der Normalverteilung wurde bei allen getesteten Parametern mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test festgestellt.

Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der Herzfrequenz der 21 Testpersonen beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur.



Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der Herzfrequenz der 21 Testpersonen beim Standard-12-Kanal-EKG.

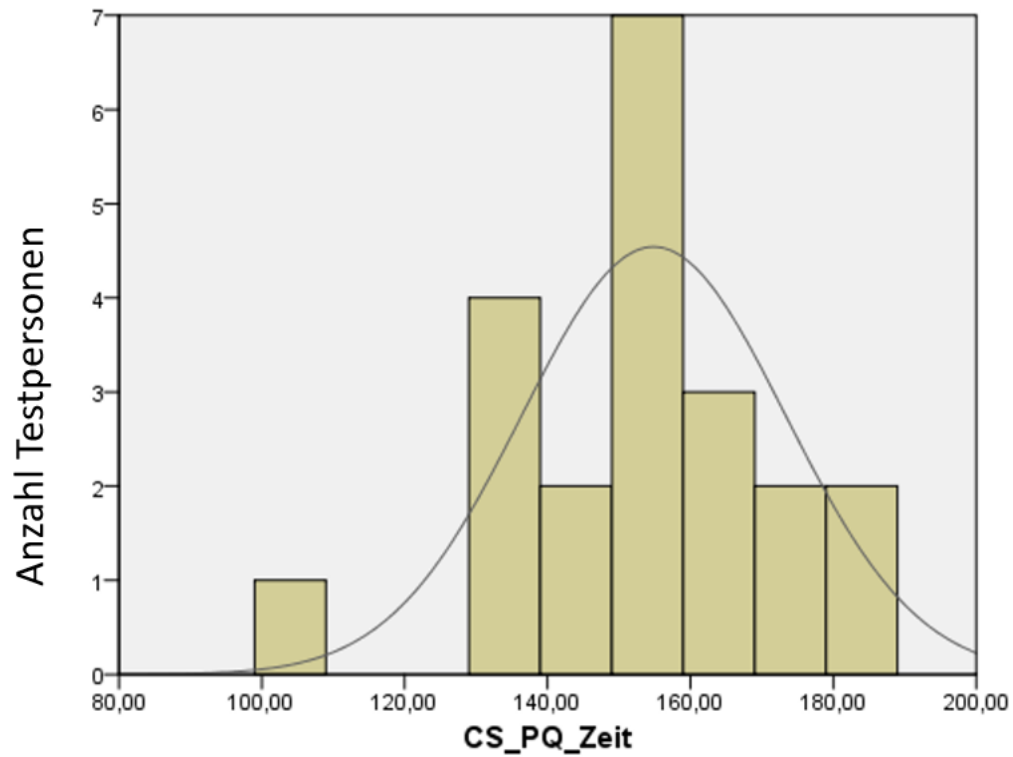


Hypothesentestübersicht

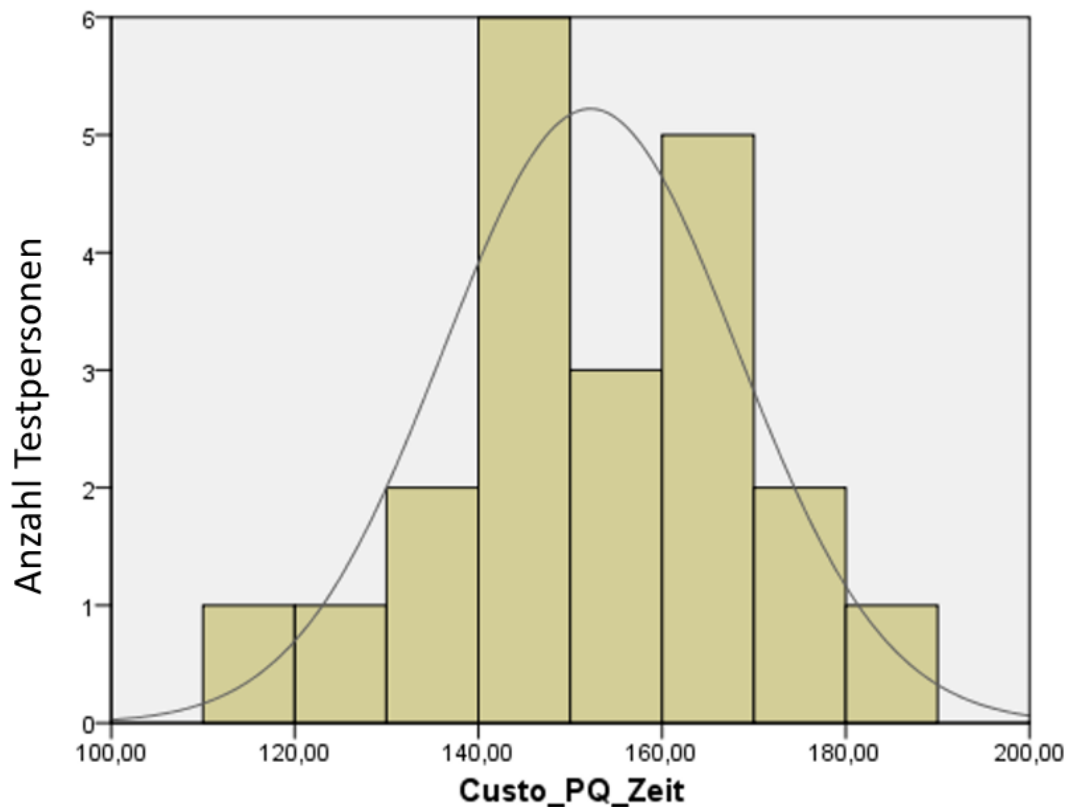
	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von CS_HF ist normal mit Mittelwert 62,524 und Standardabweichung 9,68.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,950	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von Custo_HF ist normal mit Mittelwert 62,905 und Standardabweichung 10,34.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,972	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der PQ-Zeit der 21 Testpersonen beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur.



Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der PQ-Zeit der 21 Testpersonen beim Standard-12-Kanal-EKG.

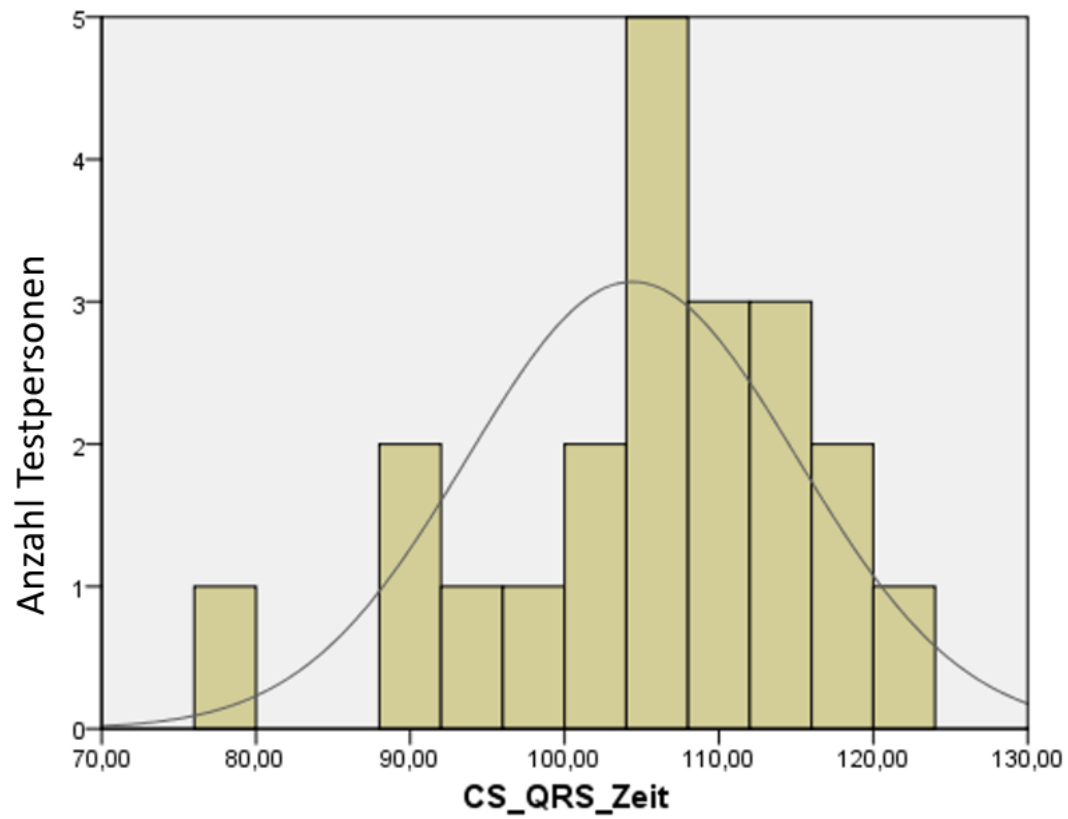


Hypothesentestübersicht

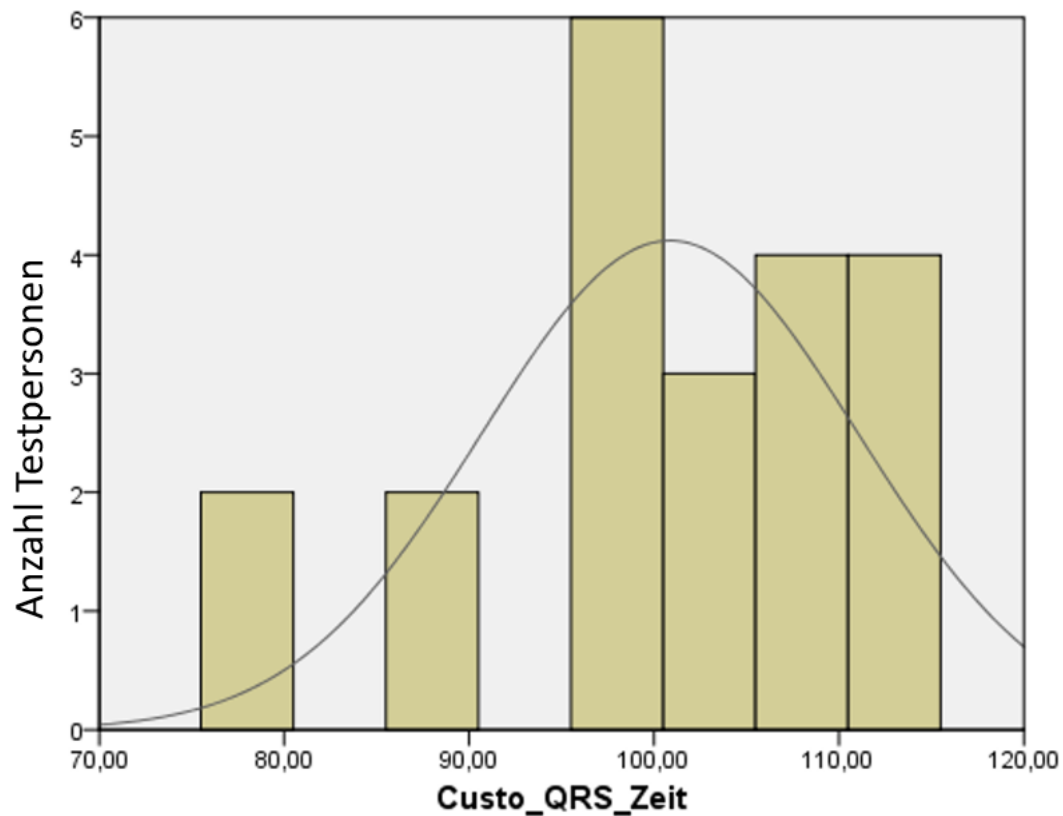
	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von CS_PQ_Zeit ist normal mit Mittelwert 154,857 und Standardabweichung 18,45.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,853	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von Custo_PQ_Zeit ist normal mit Mittelwert 152,190 und Standardabweichung 16,04.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,993	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der QRS-Zeit der 21 Testpersonen beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur.



Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der QRS-Zeit der 21 Testpersonen beim Standard-12-Kanal-EKG.

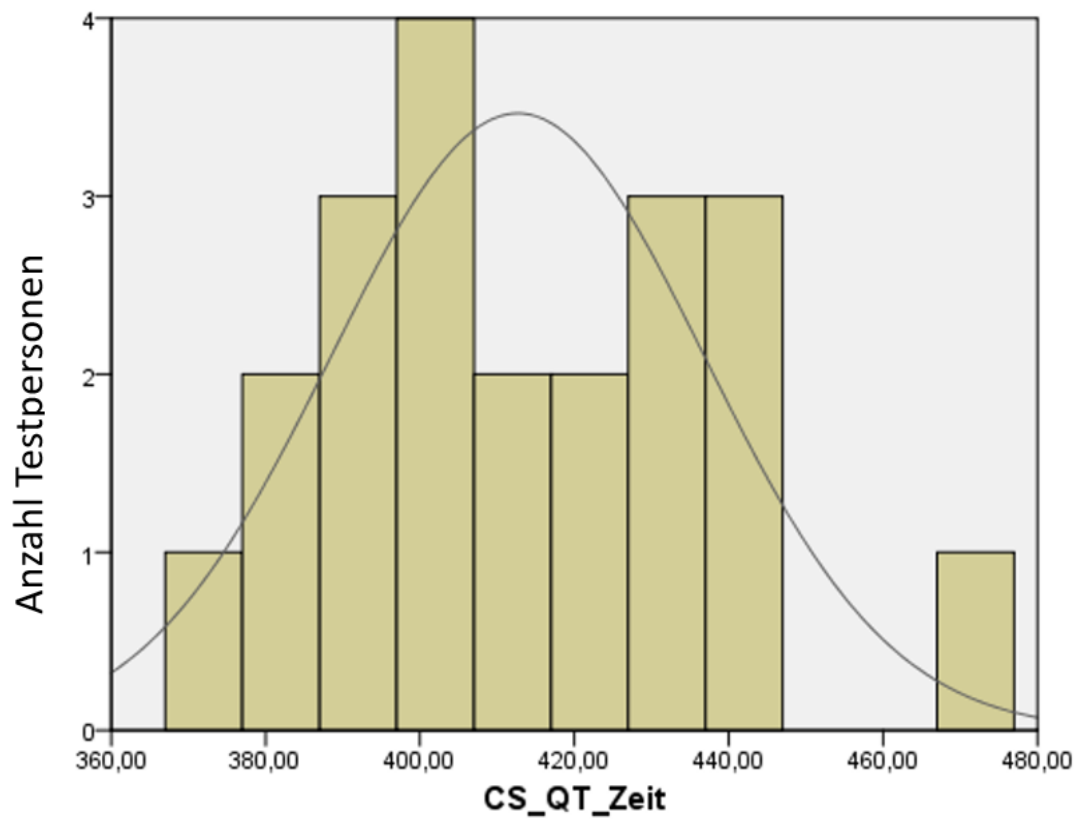


Hypothesentestübersicht

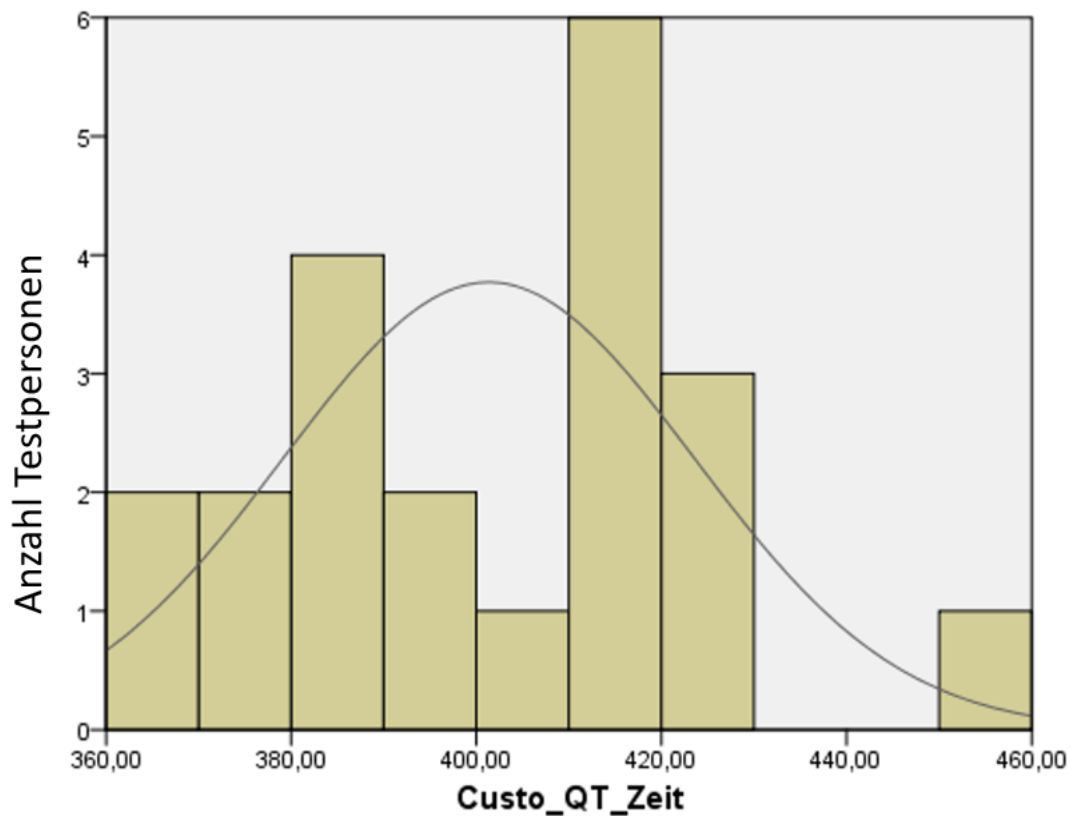
	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von CS_QRS_Zeit ist normal mit Mittelwert 104,381 und Standardabweichung 10,67.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,714	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von Custo_QRS_Zeit ist normal mit Mittelwert 100,857 und Standardabweichung 10,17.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,768	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der QT-Zeit der 21 Testpersonen beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur.



Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der QT-Zeit der 21 Testpersonen beim Standard-12-Kanal-EKG.

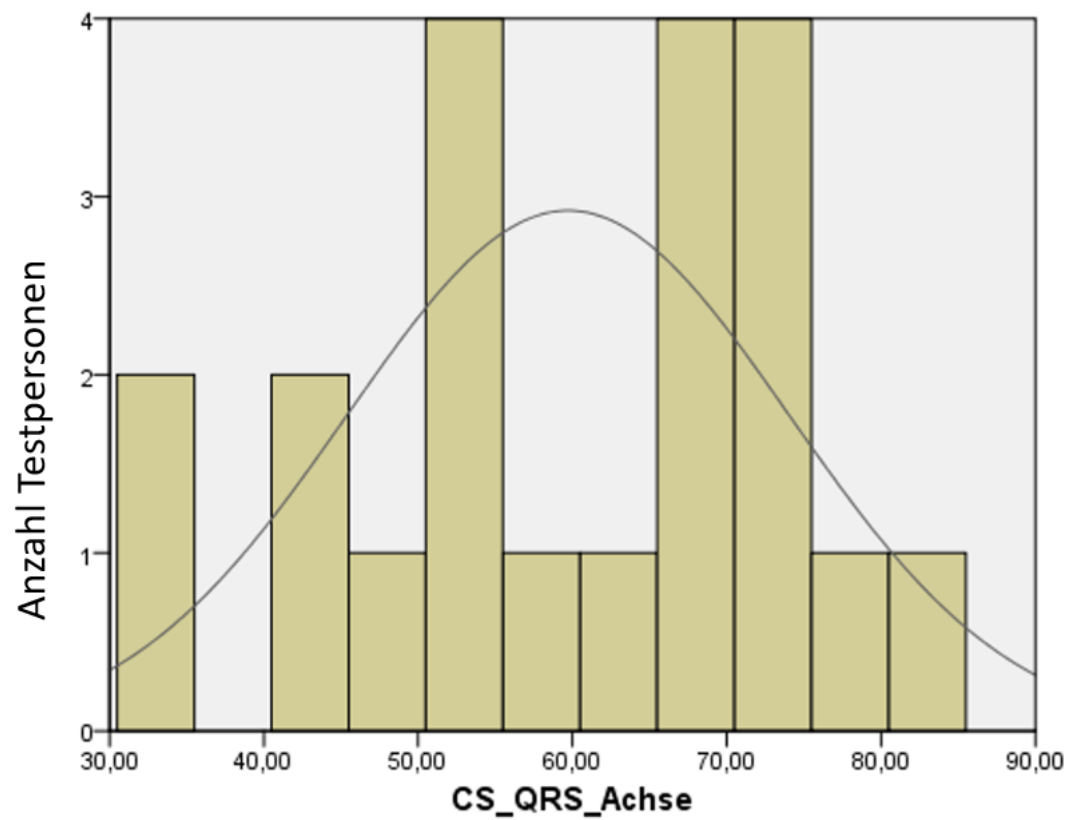


Hypothesentestübersicht

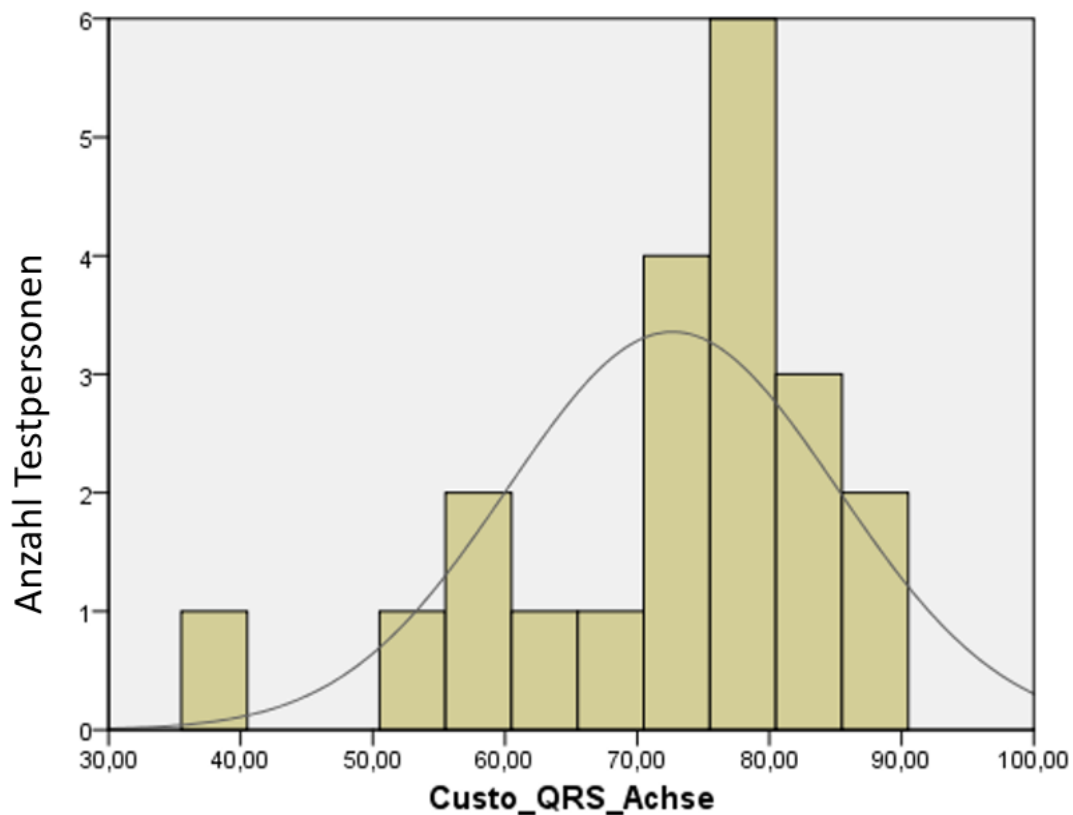
	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von CS_QT_Zeit ist normal mit Mittelwert 412,667 und Standardabweichung 24,17.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,998	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von Custo_QT_Zeit ist normal mit Mittelwert 401,333 und Standardabweichung 22,22.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,773	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der QRS-Achse der 21 Testpersonen beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur.



Das folgende Diagramm beschreibt eine Normalverteilung der QRS-Achse der 21 Testpersonen beim Standard-12-Kanal-EKG.



Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von CS_QRS_Achse ist normal mit Mittelwert 59,714 und Standardabweichung 14,33.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,596	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von Custo_QRS_Achse ist normal mit Mittelwert 72,667 und Standardabweichung 12,48.	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest	,415	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

T-Test und deskriptive Statistik

In den folgenden beiden Tabellen werden die Ergebnisse der auf Unterschied zwischen dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG getesteten Parameter (HF, PQ-Zeit, QRS-Zeit, QT-Zeit und QRS-Achse) überblicksartig dargestellt (Mittelwerte, Standardabweichungen, Standardfehler des Mittelwertes, 95%-Konfidenzintervalle, T-Werte, Freiheitsgrade und Signifikanz).

Statistik bei gepaarten Stichproben

		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	CS_HF	62,5238	21	9,68307	2,11302
	Custo_HF	62,9048	21	10,33879	2,25611
Paaren 2	CS_PQ_Zeit	154,8571	21	18,44529	4,02509
	Custo_PQ_Zeit	152,1905	21	16,03939	3,50008
Paaren 3	CS_QRS_Zeit	104,3810	21	10,66994	2,32837
	Custo_QRS_Zeit	100,8571	21	10,16507	2,21820
Paaren 4	CS_QT_Zeit	412,6667	21	24,16885	5,27408
	Custo_QT_Zeit	401,3333	21	22,22011	4,84883
Paaren 5	CS_QRS_Achse	59,7143	21	14,33228	3,12756
	Custo_QRS_Achse	72,6667	21	12,47531	2,72234

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwerts	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paare 1	CS_HF Custo_HF	-1,38095	2,03657	,44442	-1,30799	,54608	-1,8570	2	,401
Paare 2	CS_PQ_Zeit Custo_PQ_Zeit	-2,66667	6,40573	1,39784	-2,24919	5,58252	1,9080	2	,071
Paare 3	CS_QRS_Zeit Custo_QRS_Zeit	-3,52381	4,31994	,94269	1,55740	5,49022	3,7380	2	,001
Paare 4	CS_QT_Zeit Custo_QT_Zeit	-11,33333	11,83779	2,58322	5,94483	16,72183	4,3870	2	,000
Paare 5	CS_QRS_Achse Custo_QRS_Achse	-12,95238	9,58372	2,09134	-17,31484	-8,58993	-6,1903	2	,000

Zusammenfassung erzielter Forschungsergebnisse

Herzfrequenz

Es besteht kein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter Herzfrequenz; $t(20) = -0,857$; $p = 0,401$.

PQ-Zeit

Es besteht kein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter PQ-Zeit; $t(20) = 1,908$; $p = 0,071$.

QRS-Zeit

Es besteht ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QRS-Zeit; $t(20) = 3,738$; $p = 0,001$.

QT-Zeit

Es besteht ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QT-Zeit; $t(20) = 4,387$; $p = 0,000$.

QRS-Achse

Es besteht ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QRS-Achse; $t(20) = -6,193$; $p = 0,000$.

Weitere deskriptive Statistik

Die folgenden beiden Tabellen zeigen das Minimum, das Maximum, den Mittelwert, die Standardabweichung und die Varianz sowie die Anzahl gültiger bzw. fehlender Fälle (absolut und prozentual) beim Parameter Herzfrequenz beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und beim Standard-12-Kanal-EKG.

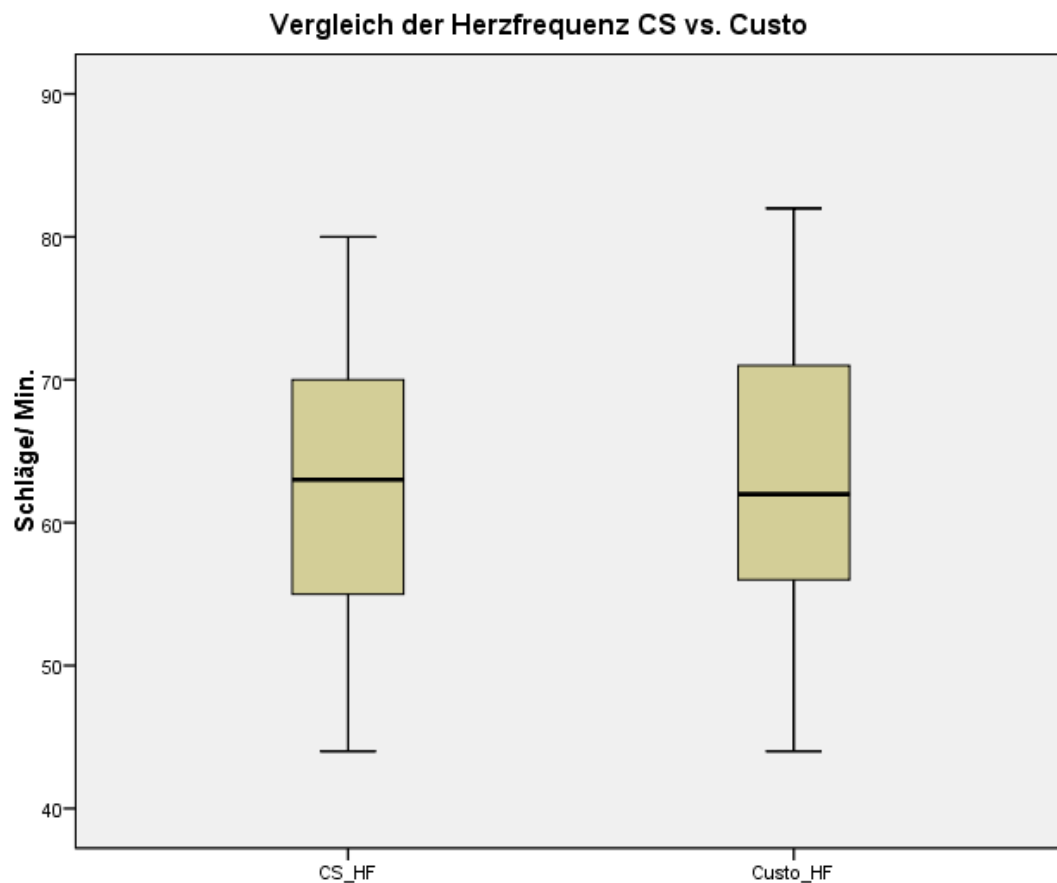
Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
CS_HF	21	44,00	80,00	62,5238	9,68307	93,762
Custo_HF	21	44,00	82,00	62,9048	10,33879	106,890
Gültige Werte (Listenweise)	21					

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
CS_HF	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%
Custo_HF	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt den Vergleich der Herzfrequenz der 21 Testpersonen zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG.



Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter Herzfrequenz; $t(20) = -0,857$; $p = 0,401$.

Die folgenden, beiden Tabellen zeigen das Minimum, das Maximum, den Mittelwert, die Standardabweichung, die Varianz und die Anzahl gültiger bzw. fehlender Fälle (absolut und prozentual) beim Parameter PQ-Zeit beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und beim Standard-12-Kanal-EKG.

Deskriptive Statistik

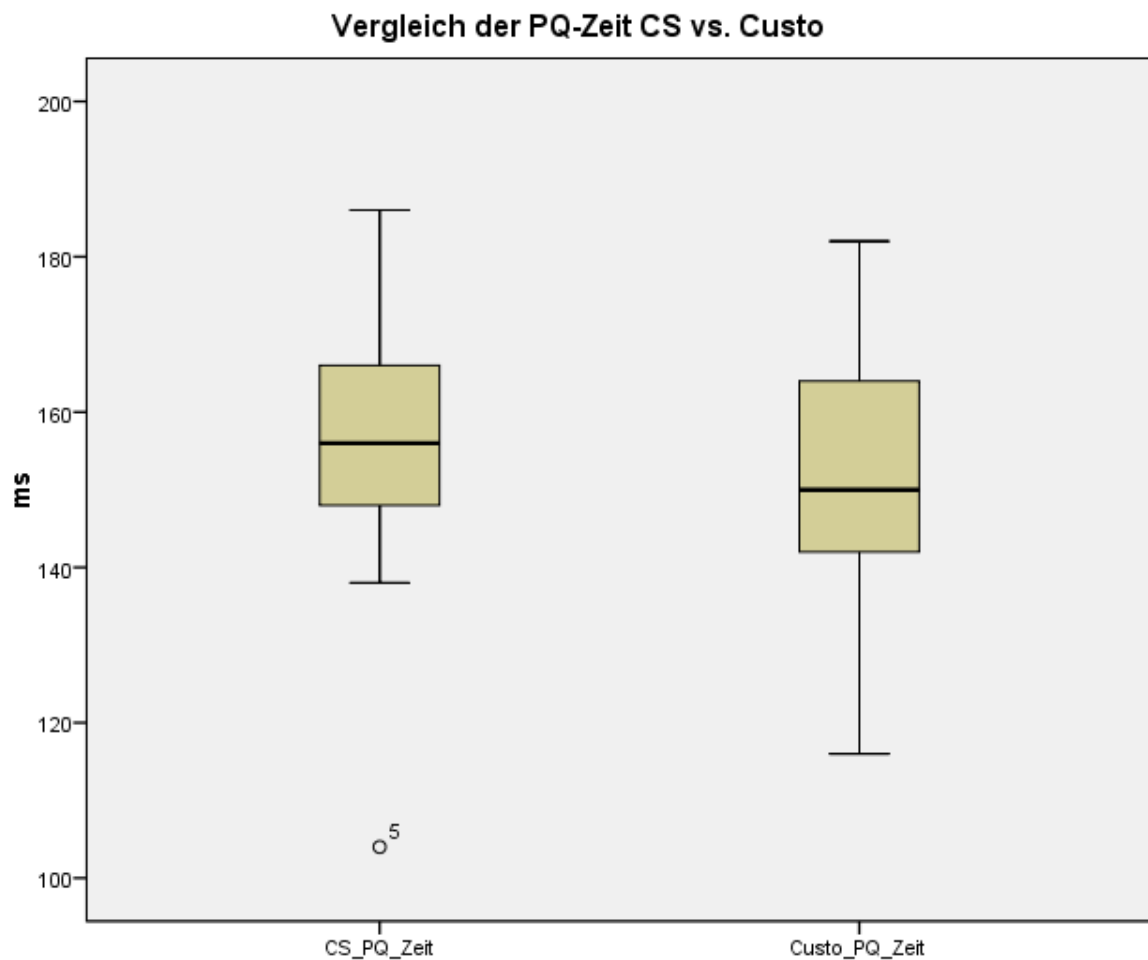
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
CS_PQ_Zeit	21	104,00	186,00	154,8571	18,44529	340,229
Custo_PQ_Zeit	21	116,00	182,00	152,1905	16,03939	257,262
Gültige Werte (Listenweise)	21					

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
CS_PQ_Zeit	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%
Custo_PQ_Zeit	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt den Vergleich der PQ-Zeit der 21 Testpersonen zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG.



Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter PQ-Zeit; $t(20) = 1,908$; $p = 0,071$.

Deskriptive Statistik

Die folgenden beiden Tabellen zeigen das Minimum, das Maximum, den Mittelwert, die Standardabweichung, die Varianz und die Anzahl gültiger bzw. fehlender Fälle (absolut und prozentual) beim Parameter QRS-Zeit beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und beim Standard-12-Kanal-EKG.

Deskriptive Statistik

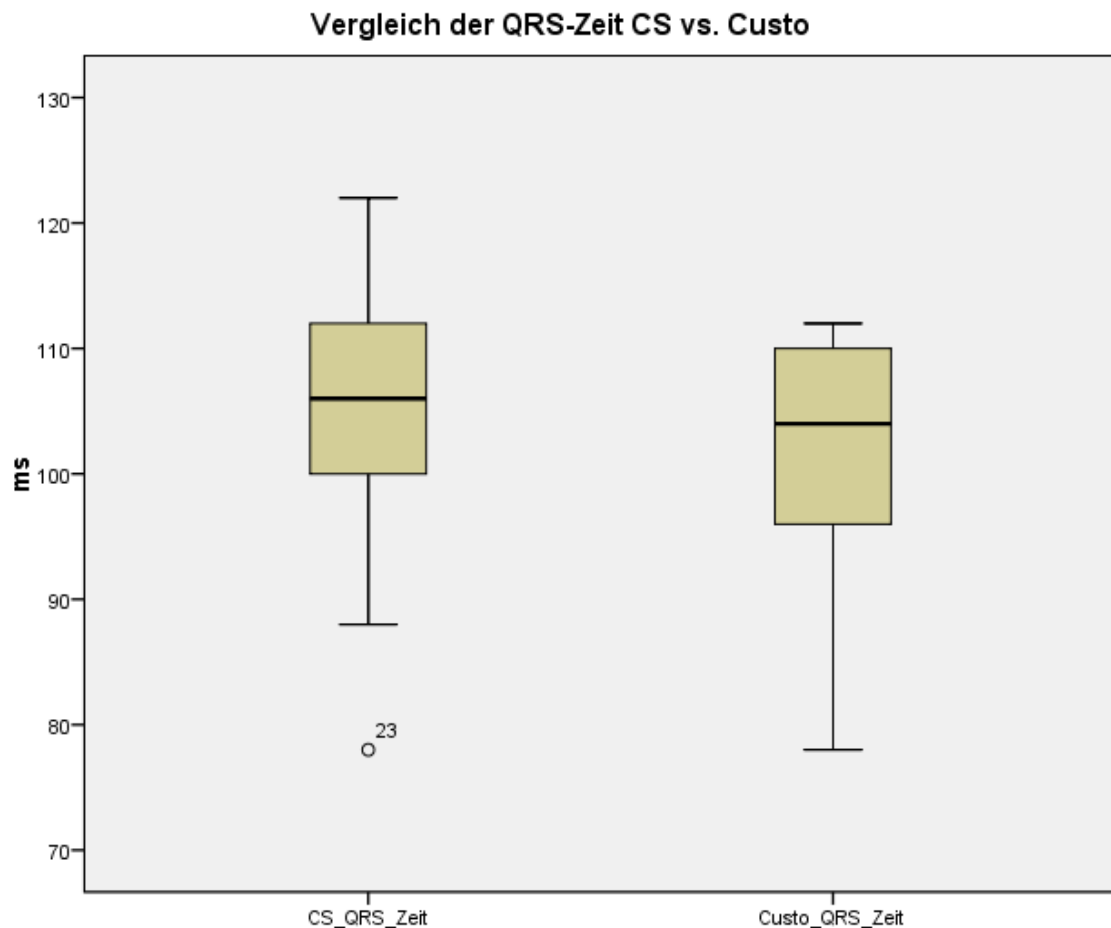
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
CS_QRS_Zeit	21	78,00	122,00	104,3810	10,66994	113,848
Custo_QRS_Zeit	21	78,00	112,00	100,8571	10,16507	103,329
Gültige Werte (Listenweise)	21					

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
CS_QRS_Zeit	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%
Custo_QRS_Zeit	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt den Vergleich der QRS-Zeit der 21 Testpersonen zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG.



Hier zeigt sich hingegen ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QRS-Zeit; $t(20) = 3,738$; $p = 0,001$.

Deskriptive Statistik

Die folgende Tabelle zeigt das Minimum, das Maximum, den Mittelwert, die Standardabweichung und die Varianz der QT-Zeit beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und beim Standard-12-Kanal-EKG.

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
CS_QT_Zeit	21	372,00	468,00	412,6667	24,16885	584,133
Custo_QT_Zeit	21	367,00	451,00	401,3333	22,22011	493,733
Gültige Werte (Listenweise)	21					

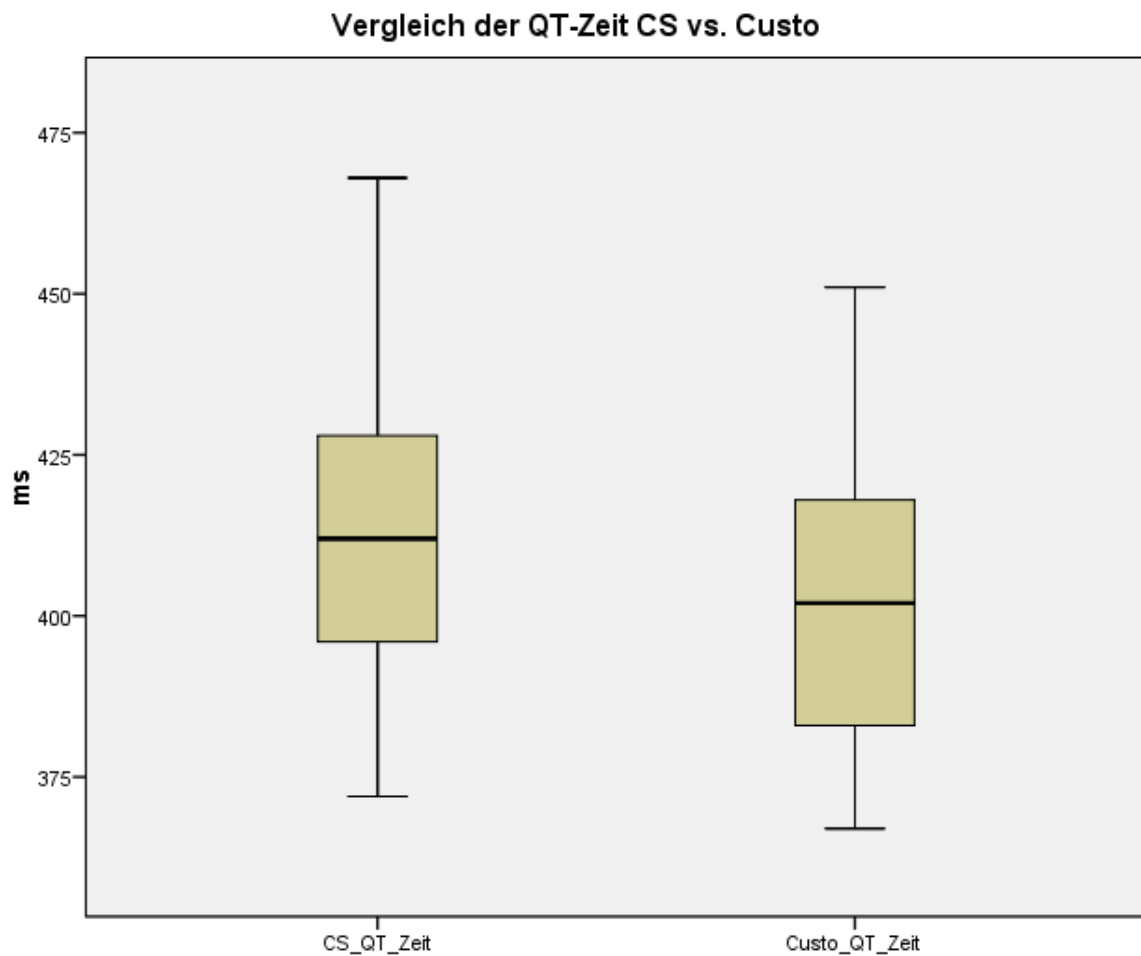
Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl (absolut und prozentuell) gültiger bzw. fehlender Fälle der Stichprobe beim Parameter QT-Zeit.

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
CS_QT_Zeit	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%
Custo_QT_Zeit	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt den Vergleich der QT-Zeit der 21 Testpersonen zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG.



Hier zeigt sich ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QT-Zeit; $t(20) = 4,387$; $p = 0,000$.

Deskriptive Statistik

Die folgende Tabelle zeigt das Minimum, das Maximum, den Mittelwert, die Standardabweichung und die Varianz der QRS-Achse beim Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und beim Standard-12-Kanal-EKG.

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz
CS_QRS_Achse	21	33,00	83,00	59,7143	14,33228	205,414
Custo_QRS_Achse	21	38,00	90,00	72,6667	12,47531	155,633
Gültige Werte (Listenweise)	21					

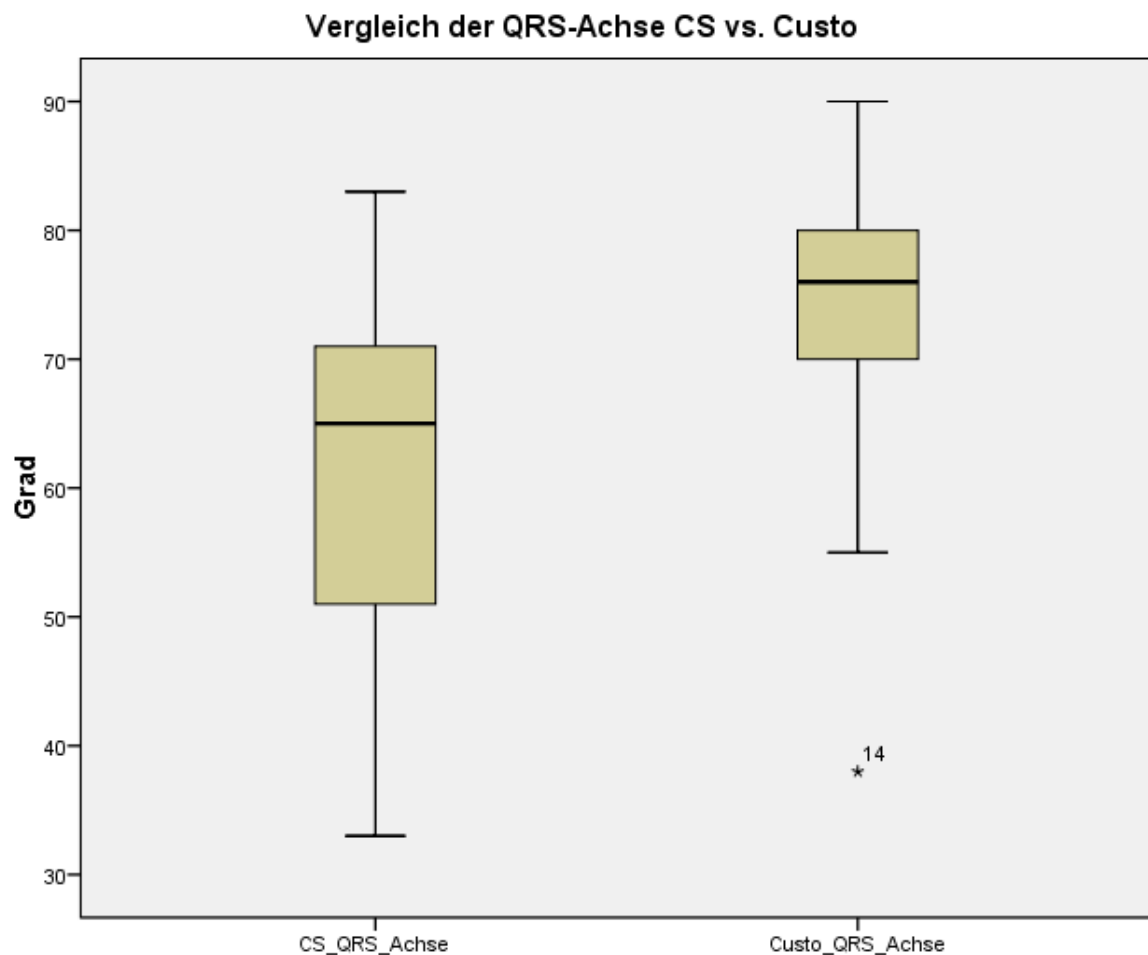
Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl (absolut und prozentuell) gültiger bzw. fehlender Fälle der Stichprobe beim Parameter QRS-Achse.

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
CS_QRS_Achse	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%
Custo_QRS_Achse	21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt den Vergleich der QRS-Achse der 21 Testpersonen zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG.



Hier zeigt sich ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QRS-Achse; $t(20) = -6,193$; $p = 0,000$.

Häufigkeiten - Geschlecht

Die folgende Tabelle beschreibt die Verteilung des Geschlechts (absolute Häufigkeiten und gültige Prozente sowie fehlende Werte):

Geschlecht

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	"männlich"	18	78,3	85,7	85,7
	"weiblich"	3	13,0	14,3	100,0
	Gesamt	21	91,3	100,0	
Fehlend	System	2	8,7		
Gesamt		23	100,0		

Mittelwert und Häufigkeiten - Alter

Die folgende Tabelle beschreibt den Mittelwert und die Standardabweichung des Alters in Bezug auf die Stichprobe.

Statistiken

Alter

N	Gültig	21
	Fehlend	2
Mittelwert		28,6667
Standardabweichung		8,83365

Die folgende Tabelle beschreibt die absoluten Häufigkeiten, die prozentuellen Häufigkeiten, die gültigen, prozentuellen Häufigkeiten sowie die kumulierten, prozentuellen Häufigkeiten in Bezug auf das Alter.

Alter

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	19,00	1	4,3	4,8	4,8
	21,00	1	4,3	4,8	9,5
	22,00	1	4,3	4,8	14,3
	24,00	1	4,3	4,8	19,0
	25,00	1	4,3	4,8	23,8
	26,00	5	21,7	23,8	47,6
	27,00	2	8,7	9,5	57,1
	28,00	5	21,7	23,8	81,0
	29,00	1	4,3	4,8	85,7
	30,00	1	4,3	4,8	90,5
	54,00	2	8,7	9,5	100,0
	Gesamt	21	91,3	100,0	
Fehlend	System	2	8,7		
Gesamt		23	100,0		

Kreuztabellen - Häufigkeiten Männer und Frauen

Die folgende Tabelle beschreibt die absoluten bzw. relativen Häufigkeiten gültiger bzw. fehlender Fälle in Bezug auf die Stichprobe (beim Parameter Alter & Geschlecht).

Verarbeitete Fälle

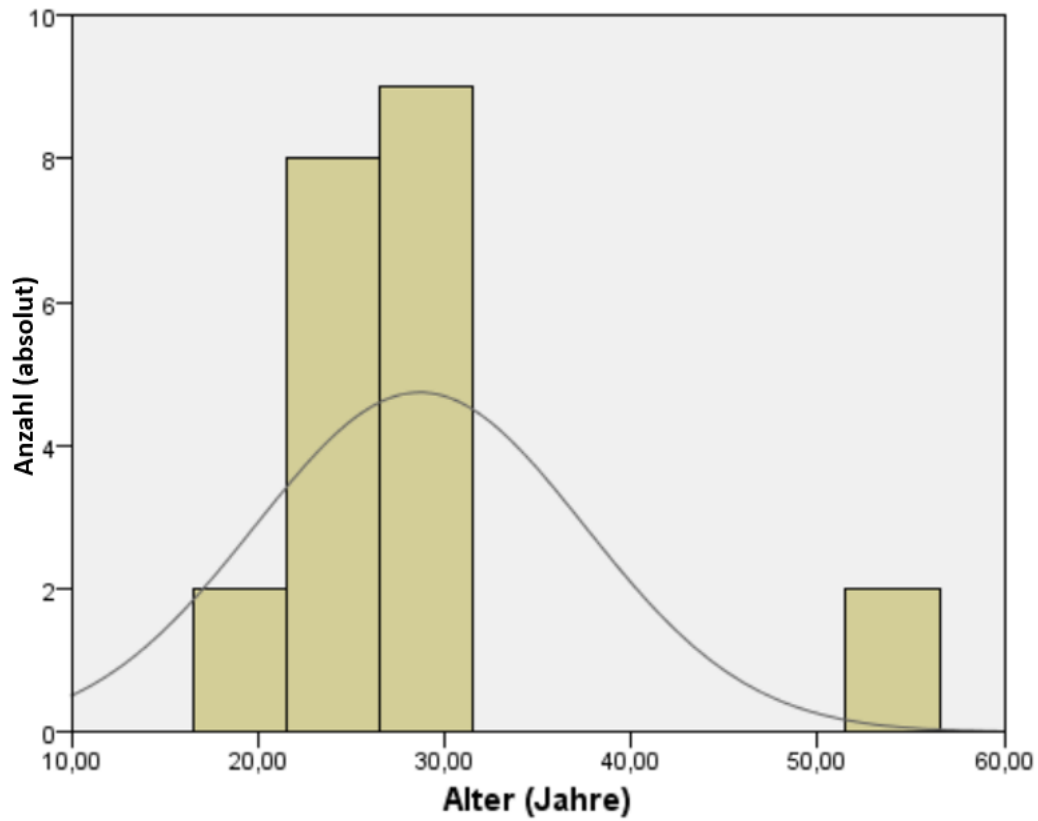
	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Alter	*21	91,3%	2	8,7%	23	100,0%
Geschlecht						

Alter * Geschlecht Kreuztabelle

Die folgende Tabelle beschreibt das Alter in Bezug auf absolute Häufigkeiten nach dem Geschlecht.

		Geschlecht		Gesamt
		"männlich"	"weiblich"	
Alter	19,00	1	0	1
	21,00	1	0	1
	22,00	1	0	1
	24,00	0	1	1
	25,00	1	0	1
	26,00	4	1	5
	27,00	2	0	2
	28,00	5	0	5
	29,00	0	1	1
	30,00	1	0	1
	54,00	2	0	2
Gesamt		18	3	21

Das folgende Diagramm beschreibt die Verteilung des Alters in der Stichprobe.



Der Alter liegt im Mittel bei 28,7 Jahren mit einer Standardabweichung von 8,8 Jahren.

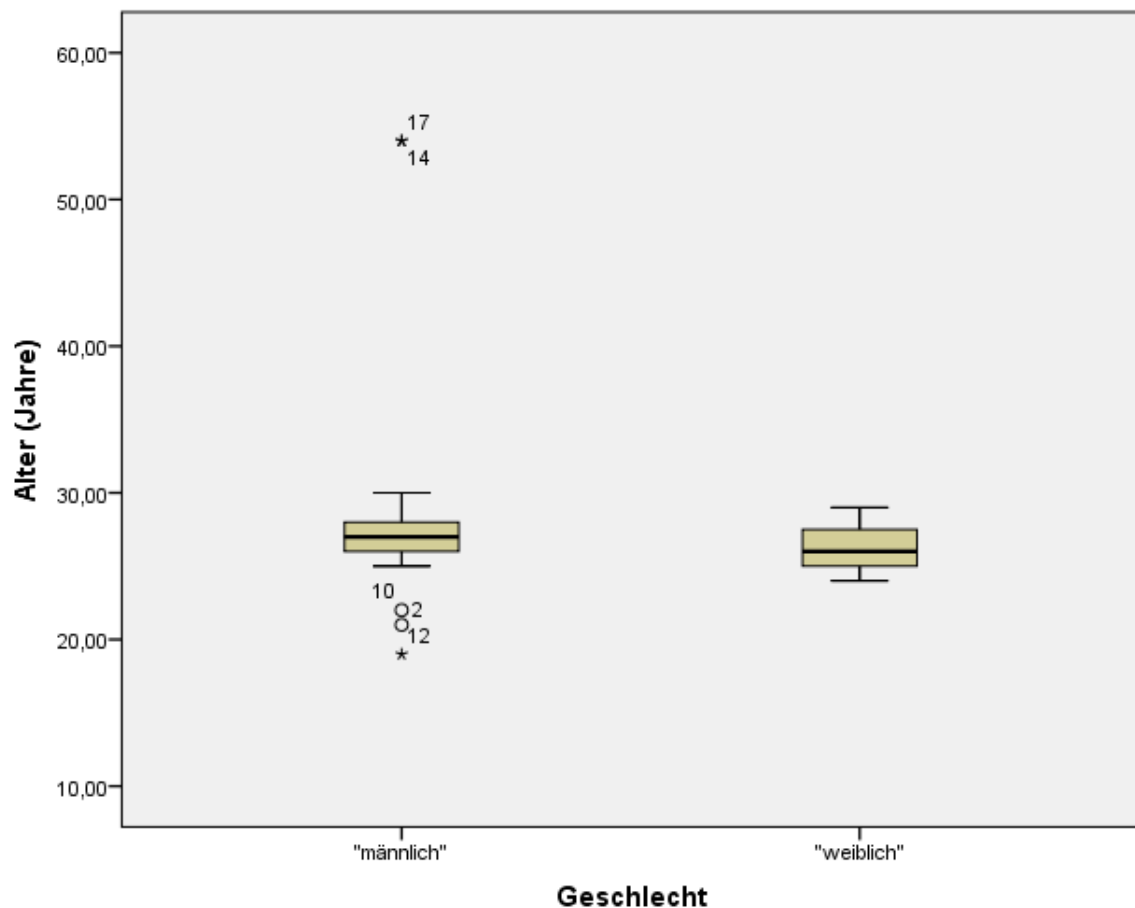
Geschlecht

Die folgende Tabelle beschreibt die absoluten bzw. relativen Häufigkeiten gültiger bzw. fehlender Fälle in Bezug auf die Stichprobe (beim Parameter Alter & Geschlecht).

Verarbeitete Fälle

		Fälle					
		Gültig		Fehlend		Gesamt	
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Alter	"männlich"	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%
	"weiblich"	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt die Verteilung des Alters in Bezug auf das Geschlecht in der Stichprobe.



Der Alter liegt bei den Männern im Mittel bei 29,1 Jahren mit einer Standardabweichung von 9,5 Jahren. Bei den Frauen liegt das Alter im Mittel bei 26,3 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,5 Jahren.

Deskriptive Statistik - Alter - Nur Männer

Die folgenden beiden Tabellen beschreiben die absoluten bzw. relativen Häufigkeiten gültiger bzw. fehlender Fälle, den Mittelwert und die Standardabweichung in Bezug auf die Stichprobe nach dem Geschlecht (nur Männer) beim Parameter Alter.

Statistiken

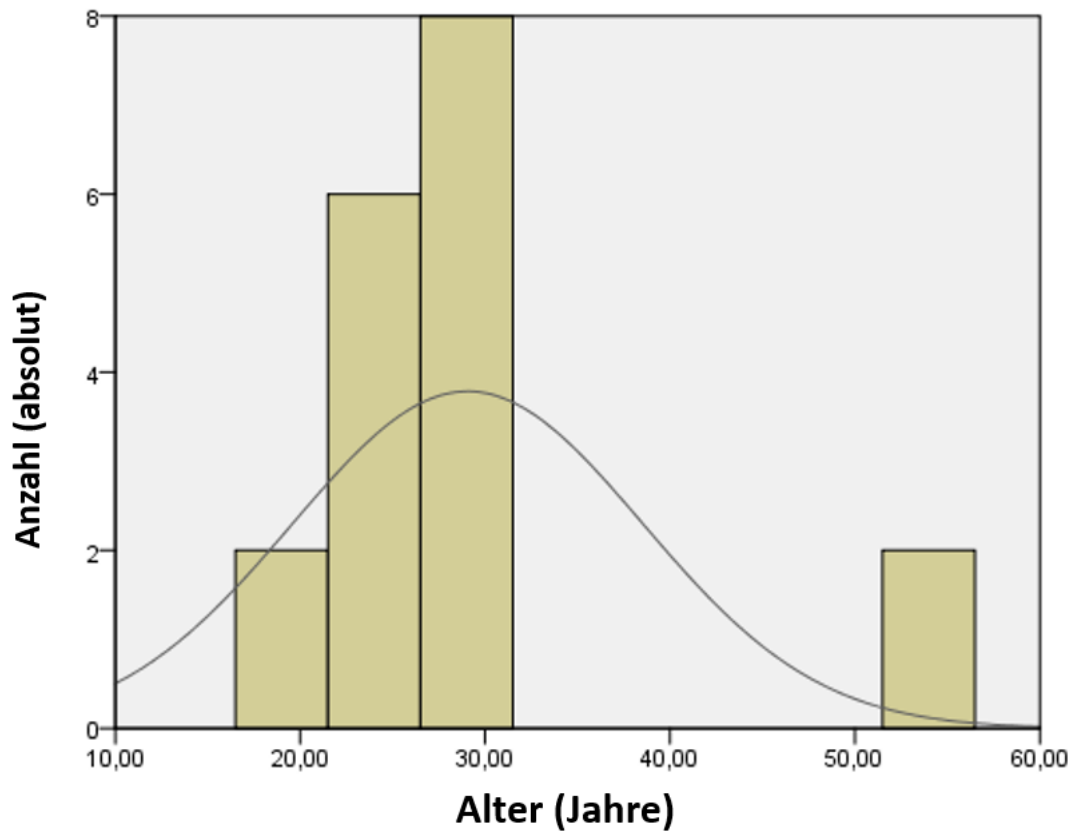
Alter

N	Gültig	18
	Fehlend	0
Mittelwert		29,0556
Standardabweichung		9,48356

Alter

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig 19,00	1	5,6	5,6	5,6
21,00	1	5,6	5,6	11,1
22,00	1	5,6	5,6	16,7
25,00	1	5,6	5,6	22,2
26,00	4	22,2	22,2	44,4
27,00	2	11,1	11,1	55,6
28,00	5	27,8	27,8	83,3
30,00	1	5,6	5,6	88,9
54,00	2	11,1	11,1	100,0
Gesamt	18	100,0	100,0	

Das folgende Diagramm beschreibt die Verteilung des Alters (nur Männer) in der Stichprobe.



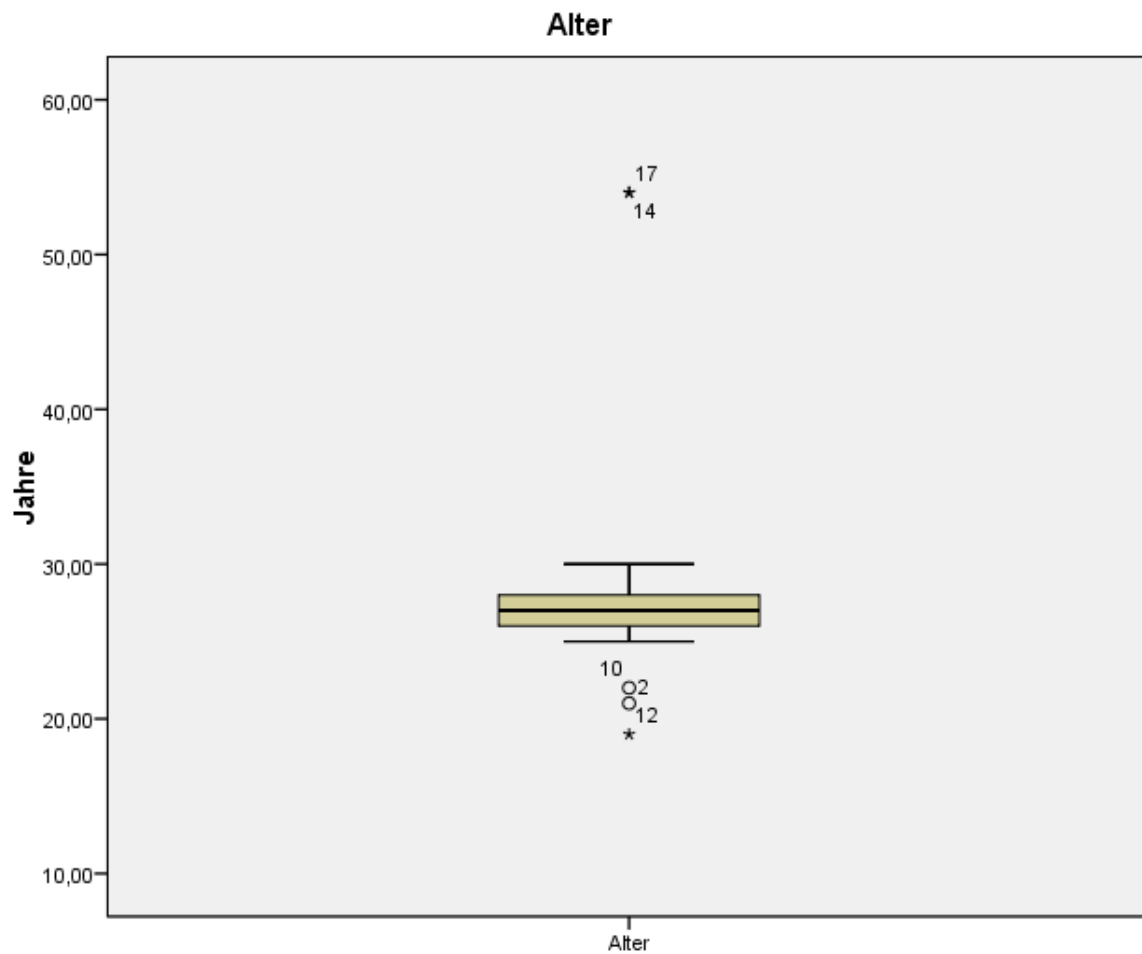
Explorative Datenanalyse

Die folgende Tabelle beschreibt die absoluten bzw. relativen Häufigkeiten gültiger bzw. fehlender Fälle in Bezug auf die Stichprobe nach dem Geschlecht (nur Männer) beim Parameter Alter.

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Alter	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt die Verteilung des Alters (nur Männer) in der Stichprobe.



Deskriptive Statistik - Nur Frauen

Die folgenden beiden Tabellen beschreiben die absoluten bzw. relativen Häufigkeiten gültiger bzw. fehlender Fälle, den Mittelwert und die Standardabweichung in Bezug auf die Stichprobe nach dem Geschlecht (nur Frauen) beim Parameter Alter.

Statistiken

Alter

N	Gültig	3
	Fehlend	0
Mittelwert		26,3333
Standardabweichung		2,51661

Alter

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig 24,00	1	33,3	33,3	33,3
26,00	1	33,3	33,3	66,7
29,00	1	33,3	33,3	100,0
Gesamt	3	100,0	100,0	

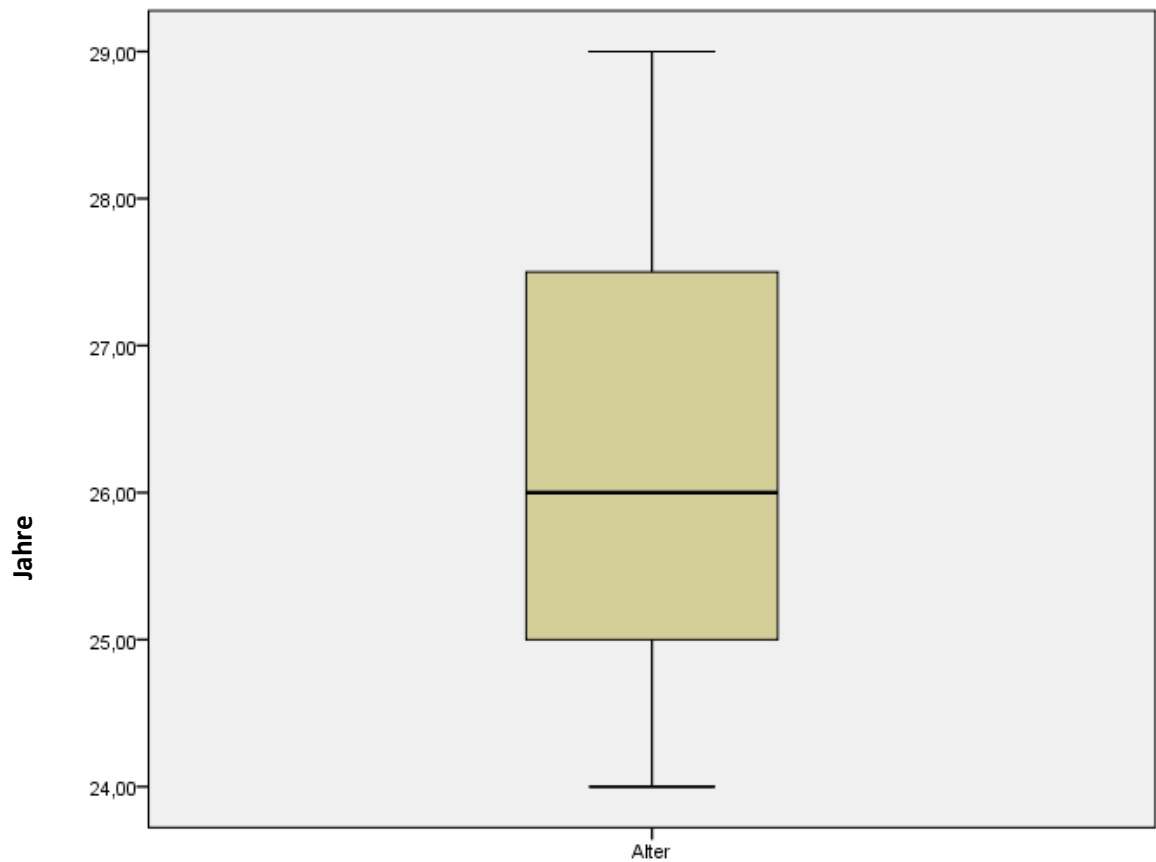
Explorative Datenanalyse

Die folgende Tabelle beschreibt die absoluten bzw. relativen Häufigkeiten gültiger bzw. fehlender Fälle in Bezug auf die Stichprobe nach dem Geschlecht (nur Frauen) beim Parameter Alter.

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Alter	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

Das folgende Diagramm beschreibt die Verteilung des Alters in Jahren (nur Frauen) in der Stichprobe.



Diskussion

Das Ziel dieser Masterarbeit war die Beantwortung der Fragestellung, ob es einen Unterschied in den EKG-Parametern (HF, RR-Intervalle, PQ-Zeiten, QRS-Komplex, QT/QTc-Zeit, T-Negativierung) zwischen einem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG und einem Standard-12-Kanal-EKG gibt.

Bis dato gibt es relativ wenig Studien (vgl. CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018) über das beim empirischen Teil dieser Arbeit verwendete, mobile EKG-System von CardioSecur bzw. werden andere Untersuchungsparameter in den Fokus gestellt als jene, welche im Rahmen dieser Masterarbeit erhoben und analysiert wurden.

Eine umfassendere Studienlage (vgl. beispielsweise Avvantaggiato et al., 2017 & Alanazi et al., 2019) existiert hingegen in Zusammenhang mit anderen, mobilen EKG-Systemen im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG.

Die Parameter RR-Intervall, QTc-Zeit und T-Negativierung konnten auf Grund des Ausbruchs der COVID-19-Pandemie und der damit einhergehenden Unzugänglichkeit universitärer Einrichtungen für Studierende (welche eine Fortsetzung der praktischen Durchführung des EKG-Vergleichs zwischen dem Standard-EKG und dem mobilen EKG und somit die Datengenerierung bzw. den Zugang zu bereits erhobenen Daten auf unbestimmte Zeit unmöglich machte) daher nicht analysiert werden, wobei der Verfasser das Maximum an Möglichkeiten empirischer Datenerhebung ausgeschöpft hat.

Auf Grund dessen und auch zum Vergleich erhobener Parameter werden hier stellvertretend die Ergebnisse anderer Studien präsentiert, welche nicht auf genau dem selben mobilen EKG-System von CardioSecur basieren, jedoch andere mobile EKG-Systeme untersuchten.

Literaturergebnisse

Durch die Analyse von RR-Intervallen können Rückschlüsse auf die Herzfrequenzvariabilität gemacht werden (Arndt et al., 2010). In einer Studie von Arndt et al. (2010) werden zum Vergleich der RR-Intervalle synchrone Messungen (n=5700) mittels eines mobilen 5-Kanal-EKGs (Cardiolight S, Fa.Medset, Germany) und zwei Pulsuhren (Polar S810i und Suunto T6; jeweils mit zwei-kanaligem Brustgurt, welcher die RR-Intervalle auf der jeweiligen Armbanduhr speichert, die in weiterer Folge auf den PC übertragen und synchronisiert werden können) durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten eine hohe Intra-Klassen-Korrelation ($> 0,75$; 95% Konfidenzintervall) zw. dem 5-Kanal-EKG und der Uhr von Polar, zw. dem 5-Kanal-EKG und der Uhr von Suunto als auch zw. den beiden Pulsuhren, weshalb auf eine genaue Messung der RR-Intervalle des mobilen 5-Kanal-EKGs als auch der beiden Pulsuhren geschlossen werden kann (Arndt et al., 2010).

Eine verlängerte QTc-Zeit kann zu potentiell tödlich endenden Arrhythmien führen und steht mit mehreren Risikofaktoren wie angeborene, verlängerte QTc-Zeit, weibliches Geschlecht, Alter über 65 Jahre, ischämische Herzerkrankung, Elektrolytstörungen und Leber- bzw. Nierenversagen in Verbindung (Bekker, Noordergraaf, Pop, Teerenstra & van den Bemt, 2020).

Bekker et al. (2020) untersuchten die diagnostische Genauigkeit eines mobilen 1-Kanal-EKGs (HeartcheckTM; Kanada) im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QTc-Intervalle. Hierfür wurde bei kardiologischen, erwachsenen Patienten (ohne Herzschrittmacher bzw. implantierten Defibrillator) direkt hintereinander ein Ruhe-EKG der beiden EKG-Systeme geschrieben. Das mobile 1-Kanal-EKG schreibt innerhalb von 30s mit Hilfe von 2 Elektroden (positioniert am linken und rechten Handgelenk) ein EKG. Perfekte Übereinstimmung der beiden EKG-Systeme wurde mit maximal 10 ms Differenz definiert (Bekker et al., 2020).

Das mittlere QTc-Intervall lag beim Standard-12-Kanal-EKG bei 430.6 ± 31.1 ms, beim mobilen 1-Kanal-EKG bei 396.7 ± 47.5 ms. Der Unterschied der QTc-Intervalle der beiden EKG-Systeme war deutlich größer (mittlere Differenz -31.3 ± 41.2 ms; 95% Konfidenzintervall) als die vorab definierte perfekte Übereinstimmung mit maximal 10 ms Differenz. Nur 7 (6.9%) der geschriebenen EKGs zeigten eine perfekte Übereinstimmung (Bekker et al., 2020).

Die in dieser Studie erzielten Ergebnisse zeigen, dass das mobile 1-Kanal-EKG eine schlechtere diagnostische Genauigkeit in Bezug auf die Messung der QTc-Intervalle im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG bei kardiologischen Patienten und einer mit maximal 10 ms definierten Differenz zw. den beiden Geräten aufweist (Bekker et al., 2020).

In einer Studie von Chang et al. (2018) wurde die Genauigkeit eines mobilen EKG-Systems („CardioChip“) überprüft. Mit Hilfe eines Prototyps („Starter Kit“) sollte das Tracking bioelektrischer Signale wie dem EKG mittels Oberflächenelektroden und somit eine genaue Messung ermöglicht werden (Chang et al., 2018).

Die Miniaturisierung des CardioChip (3 mm x 3 mm x 0.6 mm) ermöglicht den Einbau in diversen mobilen Tools und schafft somit eine Variante eines kostengünstigen, praktikablen, mobilen EKG-Monitorings (Chang et al., 2018).

Das Ziel der hier beschriebenen Studie ist der Vergleich des mobilen EKG-Systems CardioChip mit dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf die klinische Genauigkeit bei der Diagnose des Herzrhythmus. Hierfür wurde jeweils die Ableitung I der beiden EKG-Systeme miteinander verglichen (Chang et al., 2018).

Alle Patienten, bei welchen planmäßig oder unvorhergesehen ein 12-Kanal-EKG im MacKay Memorial Hospital zw. 25. Juni 2015 und 15. Juli 2015 geschrieben wurde, wurden in die Studie eingeschlossen. Die Stichprobengröße umfasste in Summe 60 Patienten (24 weiblich, 36 männlich) im Alter zw. 39 und 87 Jahren (Mittelwert= 62.7 ± 11.9) (Chang et al., 2018).

Die Messung des mobilen EKGs und des Standard-EKGs fand synchron statt, wobei der Starter Kit hierfür in Rückenlage mit beiden Händen auf Brust- bzw. Bauchhöhe so ruhig

wie möglich gehalten wurde, wobei die Zeigefinger mit 2 trockenen Elektroden verbunden waren (Chang et al., 2018).

Je 10 Sekunden Aufnahmezeit des mobilen EKGs und des Standard-EKGs wurden für den Vergleich synchronisiert (Chang et al., 2018).

Bei der Diagnostizierung stellten 2 Kardiologen (geblindet) jeweils die selben morphologischen Aspekte des QRS-Komplexes, der P-Welle und der T-Welle zw. den beiden EKG-Systemen fest, wobei das mobile EKG größere Abweichungen der isoelektrischen Linie aufwies (Chang et al., 2018).

Beide Kardiologen validierten den Einsatz des mobilen EKG-Systems CardioChip im Vergleich zum Standard-12-Kanal-EKG für die genaue Beurteilung von Arrhythmien in Bezug auf die Ableitung I. Verschiedene abnormale Befunde wie beispielsweise T-Inversionen wurden diagnostiziert (Chang et al., 2018).

Bei 27/60 Patienten (45%) wurden abnormale EKGs diagnostiziert wobei 16/60 Patienten (26.7%) mehr als eine Rhythmusstörung aufwiesen (kardiale Arrhythmie). Die Diagnostizierung kardialer Arrhythmien stimmte mit 94% (nur 1 Abweichung) zw. den beiden Kardiologen stark überein (Chang et al., 2018).

Der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient lag bei der maximalen R-Amplitude bei 0,98 (95% Konfidenzintervall) und beim PR-Intervall bei 0,96 (95% Konfidenzintervall) bei 40 zufällig ausgewählten Samples (Chang et al., 2018).

Das EKG-System von CardioChip zeigt somit keinen statistischen, signifikanten Unterschied im Vergleich zum Standard-EKG. Die hohe Korrelation der EKG-Aufnahmen der beiden EKG-Tools wurde darüber hinaus mittels offline Analyse bestätigt. Das benutzerfreundliche CardioChip-EKG ermöglicht somit eine genaue EKG-Analyse (Chang et al., 2018).

Das mobile, smartphonebasiertem (iOS und Android) EKG-Tool Kardia Mobile (KM) (AliveCor Inc., San Francisco, CA, USA) bestehend aus 2 kabellosen, verbundenen Elektroden und einer App ermöglicht das Schreiben eines 1-Kanal-EKGs. Es wurde hinsichtlich der EKG-Parameter PQ-, RR- und QT-Intervalle mit dem Standard-12-Kanal-

EKG in Bezug auf Sensitivität und Spezifität für den gültigen Einsatz im medizinischen Setting verglichen (Signifikanzniveau = 0,05) (Balsam et al., 2013).

Hierfür wurden 100 kardiovaskuläre Patienten (Alter im Mittel $68 \pm 14,2$ Jahre; 66 männlich) in stabilem kardiovaskulärem Zustand rekrutiert (Balsam et al., 2013).

Das Schreiben des mobilen EKGs fand direkt nach dem Standard-12-Kanal-EKG statt. Alle EKGs wurden von 3 unabhängigen Teams (jeweils 2 Kardiologen) befundet. 1 EKG wurde auf Grund von Zitterbewegungen (Parkinson) ausgeschlossen (Balsam et al., 2013).

Der Vergleich der beiden EKGs zeigte eine große Übereinstimmung (jeweils Sensitivität und Spezifität) in Bezug auf den Rhythmus (Balsam et al., 2013):

- Sinusrhythmus: 98.4% und 74.2% ($p = 0.02$);
- Vorhofflimmern: 92.8% und 100% ($p = 0.32$);
- Vorhofflattern: 100% und 100% (ungültiger p-Wert)
- Schrittmacherrhythmus: 53.6% and 100% ($p = 0.008$)
- Pathologische Q-Wellen: 20.6% and 93.7% ($p < 0.001$)

Mittlere Zeiten der PQ-, RR- und QT- Intervalle zw. KM-EKGs und Standard-12-Kanal-EKGs ergaben die folgenden Ergebnisse (Balsam et al., 2013):

- PQ: 160 ms vs. 180 ms ($p < 0.001$)
- RR: 853 ms vs. 880 ms ($p = 0.03$)
- QT: 393 ms vs. 400 ms ($p < 0.001$)

Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass das mobile EKG von KM eine genaue EKG-Aufzeichnung und Diagnostizierung von Vorhofflimmern ermöglicht und reliable Ergebnisse in Bezug auf die QTc-Zeit bei Patienten mit arrhythmogenen Störungen liefert. Die Ergebnisse der Parameter PQ, RR und QT können als valide betrachtet werden; die Zeiten des mobilen Tools zeigen jedoch tendenziell geringere Werte als die des Standard-EKGs an (Balsam et al., 2013).

Ergebnisse empirische Studie vs. Literatur

Werden die im Rahmen der durchgeführten, empirische Studie erzielten Forschungsergebnisse mit jenen aktueller Papers verglichen, zeigen sich die im Folgenden beschriebenen Differenzen bzw. Übereinstimmungen. (Kritisch betrachtet werden sollte in diesem Zusammenhang jedoch auch die Verwendung der unterschiedlichen mobilen EKG-Tools.):

Ein Schlüsselergebnis des empirischen Teils ist die Erkenntnis, dass es keinen signifikanten Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter Herzfrequenz gibt; $t(20) = -0,857$; $p = 0,401$.

Verglichen mit der Studie von Arndt et al. (2010) können diese Ergebnisse validiert werden, wenn gleich auch kein direkter Vergleich mit dem Parameter Herzfrequenz gezogen werden kann und stattdessen die RR-Intervalle gegenübergestellt werden.

So können auch die Ergebnisse der Studie von Balsam et al. (2013) die empirischen Erkenntnisse festigen, wenn auch hier wieder der Parameter Herzfrequenz mit den RR-Intervallen verglichen wird.

Ein weiteres Ergebnis der im Rahmen dieser Arbeit präsentierten empirischen Studie ist, dass kein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter PQ-Zeit besteht; $t(20) = 1,908$; $p = 0,071$.

Die Studienergebnisse von Balsam et al. (2013) unterstützen auch diese Erkenntnis.

Auf der anderen Seite konnte hingegen ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QRS-Zeit im Rahmen der empirischen Forschung festgestellt werden; $t(20) = 3,738$; $p = 0,001$.

Außerdem wurde ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QRS-Achse festgestellt; $t(20) = -6,193$; $p = 0,000$.

Kritisch betrachtet werden sollte, dass die erzielten Ergebnisse des QRS-Komplexes nicht direkt mit den selben Parametern (QRS-Zeit, QRS-Achse) gegenübergestellt werden. Stattdessen liegen Studienergebnisse von Chang et al. (2018) vor, welche keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die maximale R-Amplitude und beim PR-Intervall feststellen.

Eine andere Erkenntnis im Rahmen der durchgeführten Studie ist, dass ein signifikanter Unterschied zw. dem Smartphone-basierten 22-Kanal-EKG von CardioSecur und dem Standard-12-Kanal-EKG in Bezug auf den Parameter QT-Zeit besteht; $t(20) = 4,387$; $p = 0,000$.

Auch hier sollte die Gegenüberstellung mit Forschungsergebnissen aus der Literatur mit Vorsicht betrachtet werden, da hier die QTc-Zeit gegenübergestellt wird. Studienergebnisse von Bekker et al. (2020) zeigen einen Unterschied der QTc-Intervalle zw. einem mobilen EKG und dem Standard-12-Kanal-EKG.

Die Studienergebnisse von Balsam et al. (2013) stehen diesen Forschungsergebnissen gegenüber, welche eine valide Messung der QT-Zeit mittels des mobilen EKGs erlauben.

Conclusio

Das mobile EKG-Tool von CardioSecur zeigt eine sehr hohe Messgenauigkeit in Bezug auf die Parameter Herzfrequenz und PQ-Zeit.

Ungenügende Messgenauigkeit bei Verwendung des mobilen EKGs von CardioSecur wird hingegen bei den Parametern QRS-Zeit, QRS-Achse und QT-Zeit erreicht.

In Bezug auf die RR-Intervalle, die QTc-Zeit und die T-Negativierung können in Zusammenhang mit CardioSecur keine validen Schlussfolgerungen gezogen werden. Ergebnisse aus anderen Studien wurden jedoch im Rahme dieser Arbeit vergleichsweise beschrieben.

Diese Erkenntnisse könnten Indizien für den validen Einsatz mobiler, smartphonebasierter EKGs in Bezug auf spezielle, medizinische Fragestellungen liefern und darüber hinaus all jene Vorteile erfüllen, welche mobile, benutzerfreundliche EKGs im Vergleich zu jenen in stationären Einrichtungen, welche ortsgebunden sind und nur von qualifiziertem Personal bedient werden können, bieten.

Anhang

Teilnehmer*inneninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie:

Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG

Sehr geehrte Teilnehmer*in

wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit, ohne Angabe von Gründen, Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ablehnen oder auch im Verlauf der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue wissenschaftliche Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und

- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer*in an dieser Studie im Klaren sind.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Der Zweck der geplanten Studie ist die Validierung eines Smartphone-basierten 4-Elektroden- Elektrokardiographie (EKG) Geräts mit einem Standard-12-Kanal-EKG Gerät. Dabei wird ein Ruhe-EKG der jeweils unterschiedlichen EKG-Typen miteinander verglichen.

2. Wie läuft die Studie ab?

Zuerst werden die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft, bevor anschließend die Testung beginnt. Eine Testung beinhaltet zwei Ruhe-EKGs, wobei eine mit einem Smartphone-basierte 4-Elektroden-EKG und eine weitere mit einem Standard-12-Kanal-EKG durchgeführt wird. Die Messungen der beiden Geräte finden zeitgleich statt. Dabei werden bei freiem Oberkörper die Elektroden auf der Haut angelegt. Ihre Herzaktivität wird mit beiden Geräten im Liegen gemessen, um anschließend eine Vergleichsanalyse zwischen den beiden Geräten durchzuführen. Die Testdauer pro Proband*in beträgt ca. 10 Min..

Der Versuchsleiter sowie die Studienmitarbeiterin sind Studierende der Sportwissenschaft mit dem Schwerpunkt der medizinischen Trainingstherapie, sie wurden vom Studienleiter (Studienarzt) eingeschult ein EKG korrekt anzulegen.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie nur aufgrund Ihrer Teilnahme an der Studie einen relevanten, gesundheitlichen Nutzen ziehen. Die Teilnahme ist selbstverständlich mit keinerlei Kosten für Sie verbunden. Es wird ausdrücklich betont, dass die EKGs **nicht** befundet werden und somit kein Befund für Sie verfasst wird.

4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?

Die Teilnahme an der Studie führt zu keinen zusätzlichen Risiken für Ihre Gesundheit. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig bei Routineuntersuchungen eingesetzt.

Ausschlusskriterien:

- Alter <18 Jahren und >60 Jahren

Einschlusskriterien:

- Frauen und Männer ab dem 18. Lebensjahr
- Motivation an Forschung zu Gesundheitszwecken teilzunehmen
- Personen ohne kardiovaskulärer Vorerkrankung bzw. mit kardiovaskulärer Vorerkrankung, welche eine EKG-Untersuchung erlaubt

5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Die Teilnahme an der Studie führt zu keinerlei Auswirkungen auf die Lebensführung oder zu sonstigen Verpflichtungen.

6. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sie haben das Recht, Ihre Teilnahmebereitschaft jederzeit zu widerrufen. Dies ist auch ohne Angabe von Gründen möglich. Durch ein Ausscheiden aus der Studie entstehen keine Nachteile für Sie. Um die Bereitschaft zur Teilnahme zu widerrufen, können Sie jederzeit den Versuchsleiter oder Studienleiter kontaktieren (persönlich, per Mail oder Telefon, siehe Punkt 9).

Es ist aber auch möglich, dass der Versuchsleiter entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden. Hierbei muss vorher kein Einverständnis von Ihnen eingeholt werden. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie entsprechen nicht den Erfordernissen der Studie.
- b) Der Versuchsleiter hat den Eindruck, dass die Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist.

7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Um die Pseudonymisierung zu gewährleisten, werden für die Auswertung die Namen der Teilnehmer*innen durch eine Ziffer ersetzt. Auch werden im Softwareprogramm des herkömmlichen 12-Kanal-EKGs sowie in jenem des Smartphone-basierten 22-Kanal-EKGs die Teilnehmer*innen ausschließlich mit einer Ziffer gekennzeichnet und nicht mit Ihrem Namen. Die Namen der Teilnehmer*innen sind ausschließlich dem Versuchsleiter bekannt und werden nur auf der Einverständniserklärung und einer Zuordnungsdatei (Code und Name) vermerkt. Diese Zuordnungsdatei befindet sich auf dem passwortgeschützten Rechner des Versuchsleiters, zu dem nur dieser Zugang hat und wird 8 Wochen nach Ihrer Teilnahme gelöscht. Die Einverständniserklärungen werden in einem verschließbaren Kasten gelagert zudem ebenfalls nur der Versuchsleiter Zugang hat. Der Versuchsleiter ist verpflichtet keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse an Dritte weiter zu geben. Die aufgenommenen Daten werden ausschließlich zu statistischen Zwecken gesammelt und verwendet. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt. Nur die am Projekt mitwirkenden Personen (Studienleiter, Versuchsleiter und Studienmitarbeiterin) haben Zugang zu den Daten der EKG-Testungen, sie sind zudem zur Verschwiegenheit verpflichtet.

Sie haben die Möglichkeit sowohl in die persönlichen Ergebnisse, als auch in das Gesamtergebnis Einsicht zu erhalten. Ihre persönlichen Ergebnisse können Sie allerdings nur bis 8 Wochen nach Ihrem letzten Test einsehen, da danach die Zuordnung nicht mehr möglich ist. Dies verlangt eine terminliche Vereinbarung mit dem Studienleiter oder dem Versuchsleiter (Kontaktdaten siehe Punkt 9). Sie haben zudem das Recht, die Löschung ihrer Daten innerhalb von 8 Wochen nach Ihrem letzten Test zu beantragen. Wenden Sie sich diesbezüglich ebenfalls an die Studienleitung oder die Versuchsleitung der Studie (Kontaktdaten siehe Punkt 9).

8. Entstehen für die Teilnehmer*innen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Für die Teilnahme an dieser Studie können keinerlei Vergütung und kein

Kostenersatz gewährt werden. Die Teilnahme ist für Sie kostenlos.

9. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie steht Ihnen die Studien- und Versuchsleitung gerne zur Verfügung. Dies betrifft auch Fragen, welche Ihre Rechte, als Teilnehmer*in an dieser Studie, betreffen.

Namen der Kontaktpersonen:

Studienleiter	Name: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag E-Mail: juergen.scharhag@univie.ac.at Tel.: +43 (0)1-4277-48871
Versuchsleiter	Name: Tholler Lukas, Bakk. E-Mail: a01301798@unet.univie.ac.at Tel.: +43 (0)699 10 370 376
Studienmitarbeit	Name: Mag. Dr. Astrid Reif, Bakk. E-Mail: astrid.reif@univie.ac.at Tel.: +43 (0)1-4277-48873

10. Einwilligungserklärung

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben:

.....

Geb. Datum:

Ich erkläre mich bereit, an der Studie ***Der Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG*** teilzunehmen.

Ich bin von Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag oder Tholler Lukas, Bakk. ausführlich und verständlich über Zielsetzung, Bedeutung und Tragweite der Studie und die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmer*inneninformation und Einwilligungserklärung gelesen, insbesondere den 4. Abschnitt (Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?). Aufgetretene Fragen wurden mir von dem Studienleiter oder Versuchsleiter verständlich und ausreichend beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden, ob ich an der Studie teilnehmen möchte. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde die Hinweise, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, befolgen, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Sollte ich aus der Studie ausscheiden wollen, so kann ich dies jeder Zeit schriftlich oder mündlich bei Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag oder Tholler Lukas, Bakk. veranlassen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden. Ich stimme zu, dass meine Daten dauerhaft in anonymisierter Form und bis 8 Wochen nach Beendigung der Studie pseudonymisiert elektronisch gespeichert werden. Die Daten werden in einer nur der Projektleitung zugänglichen Form gespeichert, die gemäß aktueller Standards gesichert ist.

Sollte ich die Löschung meiner Daten wünschen, so kann ich dies schriftlich oder telefonisch ohne Angabe von Gründen bei Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag (E-Mail:

juergen.scharhag@univie.ac.at; Tel.: +43 (0)1-4277-48871) oder Tholler Lukas, Bakk. (E-Mail: a01301798@unet.univie.ac.at; Tel.: +43 (0)699 10 370 376) veranlassen.

Den Aufklärungsteil habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.

Eine Kopie dieser Teilnehmer*inneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei der Versuchsleitung.

(Datum und Unterschrift des Teilnehmenden)

.....
.....

(Datum, Name und Unterschrift der Versuchsleitung)

.....
.....



Ethikkommission der
Universität Wien

Universitätsstraße 5
1010 Wien

Institut für Sportwissenschaft

Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag
Auf der Schmelz 6a (USZ II)
A-1150 Wien

T +43-1-4277-48867
F +43-1-4277-848867
juergen.scharhag@univie.ac.at
<https://institut-schmelz.univie.ac.at/abteilungen/sportmedizin-leistungsphysiologie-und-praevention/>

Überarbeitung zum Antrag Ethikkommission 00510

Wien, am 26.02.2020

Sehr geehrte Damen und Herren,
beim Antrag zur Studie „Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG“, die am Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport durchgeführt werden soll, wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- (1) Wer führt die Feststellung der Ein- und Ausschlusskriterien durch und stellt so die Abwesenheit von kardialen (Vor-) Erkrankungen fest?
Dies wird von Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag durchgeführt.
- (2) Es geht explizit nicht um Befundung, wie wird jedoch damit umgegangen, wenn etwas „entdeckt“ wird?
Bei pathologischen Befunden wird der/die Teilnehmer/in anhand eines Arztbriefes informiert.
- (3) Wird das Tablet auch zu anderen Zwecken verwendet?
Nein, das Tablet wird ausschließlich für diese Studie verwendet.
- (4) Antragsformular Punkt 2.3: Die T-Aktivierungen sollten rausgenommen werden.
Es ist uns leider unklar, was mit T-Aktivierung gemeint ist. Sollte damit die T-Negativierung gemeint sein, gehört die Beurteilung der T-Welle/T-Welleninversion zur standardmäßigen Interpretation des Sportler-EKGs. Siehe Literatur Sharma et al. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. Eur Heart J. 2018.
- (5) Teilnehmer*inneninformation Punkt 7: „Um die Anonymität zu gewährleisten, werden für die Auswertung die Namen der Teilnehmer*innen durch eine Ziffer ersetzt.“ Hierbei handelt es sich um eine Pseudonymisierung und nicht um eine Anonymisierung.
Wurde auf Pseudonymisierung ausgebessert.
- (6) Ebd.: „Der Versuchsleiter ist verpflichtet keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse zu geben.“ Hier ist nicht eindeutig, ob an Dritte oder an die Teilnehmer*innen gemeint ist. Bitte konkretisieren Sie das.
Dieser Punkt wurde konkretisiert.

Mit freundlichen Grüßen

Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag
Einreichungsunterlagen:

Teilnehmer*inneninformation

Beschluss der Ethikkommission

Decision of the Ethics Committee



Antragsteller / Applicant: **Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag**

Bearbeitungsnummer / Reference Number: **00517**

Projekttitel / Title of Project: **Analyse des sportmedizinisch-sportwissenschaftlichen Versorgungsstands und -bedarfs an österreichischen**

Die Stellungnahme der Ethikkommission erfolgt aufgrund folgender eingereichter Unterlagen / The decision of the Ethics Committee is based on the following documents:

23.12.2019

- 1_Cover_Letter_NASpo
- 2_Antragsformular
- 3_TeilnehmerInneninformation_und_Einverständniserklärung
- 4_Studienübersicht_Ethik
- 5_Leitfaden zum Interview

Die Kommission fasst folgenden Beschluss (mit X markiert) / The Ethics Committee has made the following decision (marked with an X):

☒ Zustimmung: Es besteht kein ethischer Einwand gegen die Durchführung der Studien. / Consent: There is no ethical objection to conduct the study as proposed.

☐ Negative Beurteilung: Der Antrag wird von der Ethikkommission abgelehnt. / Negative evaluation: The proposal is rejected by the Ethics Committee.

Inhaltliche Abänderungen müssen der Ethikkommission vorgelegt werden. / Amendments to the content must be presented to the Ethics Committee.

Unterschrift / Signature

Datum / Date

Vorsitzender der Ethikkommission / Chair of the Ethics Committee
Univ.-Prof. MMag. DDDr. Martin Voracek

Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG

Rohdaten

bis zum Ausbruch der Corona-Pandemie erhobene EKG-Parameter											
CS	Custo	Differenz	Differenz (%)	CS	Custo	Differenz	Differenz (%)	CS	Custo	Differenz	Differenz (%)
HF	HF			PQ-Zeit	PQ-Zeit			QRS-Zeit	QRS-Zeit		
	60			keine Interpretation	164				116		
	45			keine Interpretation	174				100		
	56			keine Interpretation	168				107		
	42			keine Interpretation	163				107		
21 Personen in Stichprobe aufgenommen	66			keine Interpretation	199				102		
	64			keine Interpretation	119				120		
	56			keine Interpretation	147				104		
	53	0	0	168	166	2	1.20481928	116	110	6	5.45454545
	49	-2	-3.9215686	150	138	12	8.6965217	108	105	3	2.85714286
	70	-1	-1.4084507	148	143	5	3.4965035	104	107	-3	-2.8037383
	55	-3	-5.1724138	104	116	-12	-10.344828	106	96	10	10.4166667
	63	-1	-1.5625	138	142	-4	-2.8169014	88	79	9	11.3924051
	58	2	3.57142857	148	147	1	0.68027211	122	112	10	8.92857143
	75	-3	-3.8461538	158	160	-2	-1.25	106	100	6	6
	70	2	2.94117647	152	150	2	1.33333333	100	96	4	4.16666667
	58	-1	-1.6949153	156	154	2	1.2987013	112	104	8	7.69230769
	74	-2	-2.6315789	156	149	7	4.69798558	116	110	6	5.45454545
	64	4	6.66666667	138	142	-4	-2.8169014	110	105	5	4.76190476
	54	-2	-3.5714286	158	164	-6	-3.6585366	112	111	1	0.9009009
	63	1	1.61290323	172	166	6	3.61445783	102	97	5	5.15463918
	71	1	1.42857143	158	158	0	0	94	90	4	4.44444444
	68	-3	-4.2253521	166	160	6	3.75	110	107	3	2.80373832
	62	0	0	186	182	4	2.1978022	88	89	-1	-1.1235955
	59	1	1.72413793	138	139	-1	-0.7194245	104	111	-7	-6.3063063
	44	0	0	174	171	3	1.75438596	104	100	4	4
	50	3	6.38297872	186	176	10	5.68181818	98	99	-1	-1.010101
	73	-2	-2.66666667	160	145	15	10.3448276	114	112	2	1.78571429
	80	-2	-2.4390244	138	128	10	7.8125	78	78	0	0
Mittelwert	62.52381	62.904762		154.9571429	152.19048			104.38095	100.85714		
T-Test	0.4014909			0.070892917				0.001297			

CS	Custo	Differenz	Differenz (%)	CS	Custo	Differenz	Differenz (%)	TTEST(Matrix1;Matrix2;Seiten;Typ)
QT-Zeit	QT-Zeit			QRS-Achse (Grad)	QRS-Achse (Grad)			
	410				73			
	457				81			
	484				59			
	442				77			
	402				77			
	372				85			
	438				74			
446	426	20	4.69483568	54	58	-4	-6.8965517	
432	423	9	2.12765957	74	88	-14	-15.909091	
384	369	15	4.06504065	71	78	-7	-8.974359	
440	418	22	5.26315789	51	55	-4	-7.2727273	
428	378	50	13.2275132	73	80	-7	-8.75	
420	413	7	1.69491525	83	90	-7	-7.7777778	
384	374	10	2.67379679	74	84	-10	-11.904762	
404	390	14	3.58974359	77	81	-4	-4.9382716	
418	415	3	0.72289157	57	72	-15	-20.8333333	
398	381	17	4.46194226	42	57	-15	-26.315789	
412	417	-5	-1.19904077	53	73	-20	-27.39726	
438	418	20	4.784689	51	62	-11	-17.741935	
414	411	3	0.72992701	35	38	-3	-7.8947368	
396	383	13	3.39425587	65	80	-15	-18.75	
400	388	12	3.09278351	67	76	-9	-11.842105	
406	402	4	0.99502488	33	74	-41	-55.405405	
390	395	-5	-1.26582278	66	80	-14	-17.5	
468	451	17	3.76940133	69	81	-12	-14.814815	
428	420	8	1.9047619	45	76	-31	-40.789474	
388	389	-1	-0.25706941	46	70	-24	-34.285714	
372	367	5	1.36239782	68	73	-5	-6.8493151	
412.66667	401.33333			59.71428571	72.66666667			
0.0002845				0.000004749649120021040				

BUNDESGESETZBLATT

FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH

Jahrgang 2020

Ausgegeben am 30. April 2020

Teil II

197. Verordnung: COVID-19-Lockerungsverordnung – COVID-19-LV

197. Verordnung des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz betreffend Lockerungen der Maßnahmen, die zur Bekämpfung der Verbreitung von COVID-19 ergriffen wurden (COVID-19-Lockerungsverordnung – COVID-19-LV)

Auf Grund der §§ 1 und 2 Z 1 des COVID-19-Maßnahmengesetzes, BGBl. I Nr. 12/2020, zuletzt geändert durch das Bundesgesetz BGBl. I Nr. 23/2020 und des § 15 des Epidemiegesetzes 1950, BGBl. Nr. 186/1950, zuletzt geändert durch das Bundesgesetz BGBl. I Nr. 23/2020 wird verordnet:

Öffentliche Orte

§ 1. (1) Beim Betreten öffentlicher Orte im Freien ist gegenüber Personen, die nicht im gemeinsamen Haushalt leben, ein Abstand von mindestens einem Meter einzuhalten.

(2) Beim Betreten öffentlicher Orte in geschlossenen Räumen ist gegenüber Personen, die nicht im gemeinsamen Haushalt leben, ein Abstand von mindestens einem Meter einzuhalten und eine den Mund- und Nasenbereich abdeckende mechanische Schutzvorrichtung zu tragen.

(3) Im Massenbeförderungsmittel ist gegenüber Personen, die nicht im gemeinsamen Haushalt leben, ein Abstand von mindestens einem Meter einzuhalten und eine den Mund- und Nasenbereich abdeckende mechanische Schutzvorrichtung zu tragen. Ist auf Grund der Anzahl der Fahrgäste sowie beim Ein- und Aussteigen die Einhaltung des Abstands von mindestens einem Meter nicht möglich, kann davon ausnahmsweise abgewichen werden.

Kundenbereiche

§ 2. (1) Das Betreten des Kundenbereichs von Betriebsstätten ist unter folgenden Voraussetzungen zulässig:

1. Gegenüber Personen, die nicht im gemeinsamen Haushalt leben, ist ein Abstand von mindestens einem Meter einzuhalten.

2. Kunden haben eine den Mund- und Nasenbereich abdeckende mechanische Schutzvorrichtung zu tragen.
3. Der Betreiber hat sicherzustellen, dass er und seine Mitarbeiter bei Kundenkontakt eine den Mund- und Nasenbereich abdeckende mechanische Schutzvorrichtung tragen, sofern zwischen den Personen keine sonstige geeignete Schutzvorrichtung zur räumlichen Trennung vorhanden ist, die das gleiche Schutzniveau gewährleistet.
4. Der Betreiber hat durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass sich maximal so viele Kunden gleichzeitig im Kundenbereich aufhalten, dass pro Kunde 10 m² zur Verfügung stehen; ist der Kundenbereich kleiner als 10 m², so darf jeweils nur ein Kunde die Betriebsstätte betreten. Bei Betriebsstätten ohne Personal ist auf geeignete Weise auf diese Voraussetzung hinzuweisen.
5. Für baulich verbundene Betriebsstätten (z. B. Einkaufszentren, Markthallen) gilt Z 4 mit der Maßgabe, dass die Flächen der Kundenbereiche der Betriebsstätten und des Verbindungsbauwerks zusammenzuzählen sind und dass sich sowohl auf der so ermittelten Fläche als auch im Kundenbereich der jeweiligen Betriebsstätten maximal so viele Kunden gleichzeitig aufhalten dürfen, dass pro Kunde 10 m² der so ermittelten Fläche bzw. des Kundenbereichs der Betriebsstätte zur Verfügung stehen.

(2) Kann auf Grund der Eigenart der Dienstleistung

1. der Mindestabstand von einem Meter zwischen Kunden und Dienstleister und/oder
2. vom Kunden das Tragen von einer den Mund- und Nasenbereich abdeckenden mechanischen Schutzvorrichtung nicht eingehalten werden,

ist diese nur zulässig, wenn durch sonstige geeignete Schutzmaßnahmen das Infektionsrisiko minimiert werden kann.

(3) Abs. 1 ist sinngemäß auf Einrichtungen zur Religionsausübung anzuwenden.

(4) Abs. 1 Z 1 bis 3 ist sinngemäß auf Märkte im Freien anzuwenden.

(5) Beim Betreten von Pflegeheimen, Krankenanstalten und Kuranstalten sowie beim Betreten von Orten, an denen Gesundheits- und Pflegedienstleistungen erbracht werden, hat der Betreiber bzw. Dienstleistungserbringer durch geeignete Schutzmaßnahmen das Infektionsrisiko zu minimieren.

Ort der beruflichen Tätigkeit

§ 3. (1) Am Ort der beruflichen Tätigkeit ist zwischen den Personen ein Abstand von mindestens einem Meter einzuhalten, sofern nicht durch geeignete Schutzmaßnahmen das Infektionsrisiko minimiert werden kann.

(2) Die Verpflichtung zum Tragen von einer den Mund- und Nasenbereich abdeckenden mechanischen Schutzvorrichtung in Bereichen, wo dies nicht ohnehin auf Grund anderer Rechtsvorschriften verpflichtend erforderlich ist, ist nur im Einvernehmen zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer zulässig.

(3) Kann auf Grund der Eigenart der beruflichen Tätigkeit der Abstand von mindestens einem Meter zwischen Personen nicht eingehalten werden, ist durch sonstige geeignete Schutzmaßnahmen das Infektionsrisiko zu minimieren.

(4) Die Abs. 1 bis 3 sind sinngemäß auf Fahrzeuge des Arbeitgebers anzuwenden, wenn diese während der Arbeitszeit zu beruflichen Zwecken verwendet werden.

Fahrgemeinschaften

§ 4. (1) Die gemeinsame Benützung von Kraftfahrzeugen durch Personen, die nicht im gemeinsamen Haushalt leben, ist nur zulässig, wenn dabei eine den Mund- und Nasenbereich abdeckende mechanische Schutzvorrichtung getragen wird und in jeder Sitzreihe einschließlich dem Lenker nur zwei Personen befördert werden.

(2) Gleiches gilt auch für Taxis und taxiähnliche Betriebe.

Ausbildungseinrichtungen

§ 5. (1) Das Betreten von Ausbildungseinrichtungen ist durch Auszubildende bzw. Studierende ausschließlich zu folgenden Zwecken zulässig:

1. Ausbildung in Gesundheits-, Pflege- sowie Sozial- und Rechtsberufen,
2. Vorbereitung und Durchführung von Reifeprüfungen, Schulabschlussprüfungen, Studienberechtigungsprüfungen, Basisbildungsabschlüssen und beruflichen Qualifikations- bzw. Abschlussprüfungen sowie Zertifikationsprüfungen,
3. Vorbereitung und Durchführung von Fahraus- und -weiterbildungen sowie allgemeine Fahrprüfungen,
4. Ausbildungseinrichtungen nach dem Sicherheitspolizeigesetz einschließlich Vorbereitungstätigkeiten.

(2) Auszubildende bzw. Studierende haben gegenüber Personen, die nicht im gemeinsamen Haushalt leben, einen Abstand von mindestens einem Meter einzuhalten und eine den Mund- und Nasenbereich abdeckende mechanische Schutzvorrichtung zu tragen.

(3) Kann auf Grund der Eigenart der Ausbildung

1. der Mindestabstand von einem Meter zwischen Personen und/oder
2. von Personen das Tragen von einer den Mund- und Nasenbereich abdeckenden mechanischen Schutzvorrichtung nicht eingehalten werden,

ist durch sonstige geeignete Schutzmaßnahmen das Infektionsrisiko zu minimieren.

(4) Das Betreten von Ausbildungseinrichtungen gemäß Abs. 1 ist auch für beruflich erforderliche Zwecke zulässig.

(5) Die Abs. 1 bis 3 gelten nicht für

1. Kindergärten,
2. Schulen gemäß Schulorganisationsgesetz, BGBl. Nr. 242/1962, Art. V Z 2 der 5. SchOG-Novelle, BGBl. Nr. 323/1975 und Privatschulgesetz, BGBl. Nr. 244/1962,
3. land- und forstwirtschaftliche Schulen,
4. Universitäten gemäß Universitätsgesetz 2002, BGBl. I Nr. 120/2002, und Privatuniversitätengesetz, BGBl. I Nr. 74/2011,
5. Fachhochschulen gemäß Fachhochschul-Studiengesetz, BGBl. Nr. 340/1993, und
6. Pädagogische Hochschulen gemäß Hochschulgesetz 2005, BGBl. I Nr. 30/2006.

Literaturverzeichnis

- Ackerman, M. J., Adamuz, C., Asif, I. M., Asplund, C. A., Baggish, A., Borjesson, M., ... Wilson, M. G. (2018). International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *European Heart Journal*, 39(16), 1466–1480. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw631>
- Ahluwalia, A., Davidson, S. M., He, Z., Khambata, R., & Yellon, D. M. (2018). The GTN patch: a simple and effective new approach to cardioprotection? *Basic Research in Cardiology*, 113(3), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s00395-018-0681-2>
- Alanazi, H., Masud, N., & Towhari, J. (2019). Evaluation of the diagnostic accuracy of smartphone electrocardiogram recorder compared to standard 12 lead electrocardiography in hospital settings. *Saudi Medical Journal*, 40(6), 575–581. <https://doi.org/10.15537/smj.2019.6.24206>
- Arndt, D., Kreuzfeld, S., Kumar, M., Rieger, A., Stoll, R., & Weippert, M. (2010). Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *European Journal of Applied Physiology*, 109(4), 779–786. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1415-9>
- Avvantaggiato, F., Baldini, K., Berzolari, F. G., Borrelli, P., Briante, N., Cecchi, F., ... Targetti, M. (2017). Cardiovascular screening in low-income settings using a novel 4-lead smartphone-based electrocardiograph (D-Heart®). *International Journal of Cardiology*, 236, 249–252. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.02.027>
- Baaske, K. M., Benjamin, N., Blankenberg, S., Egenlauf, B., Fischer, C., Grünig, E., ... Zengin, E. (2018). Right ventricular index for risk stratification of patients with pulmonary arterial hypertension. *Respiration*, 96(3), 249–258. <https://doi.org/10.1159/000489231>
- Balsam, P., Blicharz, L., Głowczynska, R., Grabowski, M., Koltowski, L., Maciejewski, K., ... Rokicki, J. K. (2013). Kardia Mobile applicability in clinical practice: A comparison of Kardia Mobile and standard 12-lead electrocardiogram records in 100 consecutive patients of a tertiary cardiovascular care center. *Cardiology Journal*, XX(X), 1–6. <https://doi.org/10.5603/cj.a2019.0001>
- Bekker, C. L., Noordergraaf, F., Pop, G., Teerenstra, S., & van den Bemt, B. J. F. (2020). Diagnostic accuracy of a single-lead portable ECG device for measuring QTc prolongation. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 25(1), 10–13. <https://doi.org/10.1111/anec.12683>
- Bias, J. (2019). Benigne. In *DocCheck Flexikon - Das Medizinlexikon zum Medmachen* (p. 1). Retrieved from <https://flexikon.doccheck.com/de/Benigne>
- CardioSecur – Knows Your Heart (Hrsg.). (2018). *Wissenschaftlicher Hintergrund*. [Studienabstracts]. Zugriff am 20. November 2019 unter

file:///C:/Users/Lukas/Documents/Master%20ZSU/MASTERARBEIT/Literatur_Recherche%20FERTIG/CardioSecur/CardioSecur%20Scientific%20Background_DE_V5.0.pdf

- Chang, S. S., Chang, W. H., Chang, W. L., Chen, Y. J., Hou, C. J. Y., Huang, M. Y., ... Yeh, H. I. (2018). Evaluation of the accuracy of ECG captured by CardioChip through comparison of lead I recording to a standard 12-lead ECG recording device. *Acta Cardiologica Sinica*, 34(2), 144–151. [https://doi.org/10.6515/ACS.201803_34\(2\).20170919A](https://doi.org/10.6515/ACS.201803_34(2).20170919A)
- Courand, P. Y., Gosse, P., & Lantelme, P. (2015). Electrocardiographic detection of left ventricular hypertrophy: Time to forget the Sokolow-Lyon index? *Archives of Cardiovascular Diseases*, 108(5), 277–280. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2015.03.003>
- Dalal, A. S., Gropler, M. R. F., Silva, J. N. A., & Van Hare, G. F. (2018). Can smartphone wireless ECGs be used to accurately assess ECG intervals in pediatrics? A comparison of mobile health monitoring to standard 12-lead ECG. *PLoS ONE*, 13(9), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204403>
- Dancso, B., Dastidar, A. G., Fazlanie, A. L., Garg, P., Haaf, P., Morris, P., ... Vijayan, S. (2017). Cardiac biomarkers of acute coronary syndrome: from history to high-sensitivity cardiac troponin. *Internal and Emergency Medicine*, 12(2), 147–155. <https://doi.org/10.1007/s11739-017-1612-1>
- Estes, E. H., Li, Y., Soliman, E. S. Z., Tereshchenko, L. G., & Zhang, Z.-M. (2016). The Romhilt-Estes Left Ventricular Hypertrophy Score and Its Components Predict All-Cause Mortality in the General Population. *Physiology & Behavior*, 176(1), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Greiser, K. H., Haerting, J., Kluttig, A., Kors, J. A., Medenwald, D., Müller-Werdan, U., ... Werdan, K. (2015). Performance of Sokolow-Lyon index in detection of echocardiographically diagnosed left ventricular hypertrophy in a normal Eastern German population - results of the CARLA study. *BMC Cardiovascular Disorders*, 15(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12872-015-0066-5>
- Groot, J. R. De, Handoko, M. L., Harskamp, R. E., Himmelreich, J. C. L., Karregat, E. P. M., Lucassen, W. A. M., & Nijveldt, R. (2019). Diagnostic Accuracy of a Smartphone-Operated, Single-Lead Electrocardiography Device for Detection of Rhythm and Conduction Abnormalities in Primary Care. *Annals of Family Medicine*, 17(5), 403–411.
- Joseph, J. P., & Redwood, S. R. (2017). Mobile digital health devices and the diagnosis in real-time of myocardial ischaemia. *Qjm*, 110(5), 309–310. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcx046>
- Schuster, H.-P., & Trappe, H.-J. (2017). *EKG-Kurs für Isabel* (1997th ed.). Stuttgart. <https://doi.org/10.1055/b-005-143650>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: 1-Kanal-EKG: Ableitung erhalten durch AliveCor während dem Auftreten von Brustschmerzen unter Ruhebedingungen; sichtbar eine Erhöhung der ST-Strecke und ein ektopisches Triplet (A) und darauffolgende sublinguale (unterhalb der Zunge) Verabreichung von GTN mit anschließender Normalisierung der ST-Strecke (B) – beide EKG-Streifen wurden mit 50 Hz geglättet; Skalierung: 25 Millimeter pro Sekunde (mm/s), 10 mm/ Millivolt (mV) (mod. n. Joseph & Redwood, 2017, p.309).	11
Abb. 2: Vereinfachte Darstellung des Ablaufs von Reizbildung und Erregungsleitung (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.12).	19
Abb. 3: Schematische Darstellung von Erregungsausbreitung und Erregungsrückbildung in Relation zu den „Zacken“ des Oberflächen-Elektrokardiogramms (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.13).	21
Abb. 4: Kennzeichnung einiger möglicher Konfigurationen des QRS-Komplexes (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.13).	21
Abb. 5: a Elektrodenanlegepunkte und Vektorrichtungen der Extremitätenableitungen im Einthoven-Dreieck. b Projektion der Extremitätenableitungen auf die Frontalebene des Körpers (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.14).	23
Abb. 6: a Projektion der Brustwandableitungen auf die Horizontalebene der Ventrikel. b Die Ableitungsstellen der unipolaren Ableitungen (V_1 – V_6 Wilson-Ableitungen, V_7 – V_9 sogenannte dorsale Brustwandableitungen, V_3R – V_6R rechtsthorakale Ableitungen) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.15).	24
Abb. 7: Position der EKG-Elektroden (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.16).	25
Abb. 8: Kalibrierung des EKG-Papiers bei 50 mm/sek Papiervorschub (stark vergrößerte Darstellung) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.16).	26
Abb. 9: Anatomische Skizze des Herzens in seitlicher Position: Unterscheidung von Vorderwand, posterioem und inferioem Anteil der Hinterwand (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.16).	27
Abb. 10: Verhalten von Extremitätenableitungen in anteroposteriorer Projektion des Herzens: Reziprokes Verhalten von ST-Strecken-Senkung (bzw. ST-Strecken-Hebung) in den Ableitungen II, III (und aVF) bzw. I und aVL. Der Pfeil weist auf das reziproke Verhalten von I/aVL gegenüber III hin (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.17).	28
Abb. 11: Verhalten der vorderen (V_1 und V_2) und der hinteren (V_7 und V_8) Brustwandableitungen: Reziprokes Verhalten von ST-Strecken-Hebung und ST-Strecken-Senkung (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.17).	30
Abb. 12: Darstellung normaler Befunde der Vorhoferregung. Die P-Welle ist in der Regel positiv (obere EKG-Ableitung), kann aber physiologisch in V_1 negativ sein oder konkordant negativ, wenn	

der QRS-Komplex in der entsprechenden Extremitätenableitung ebenfalls negativ ist (untere EKG-Ableitung) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.18).....	32
Abb. 13: Darstellung der Lagetypen im Oberflächen-Elektrokardiogramm mit Zuordnung der Winkelgrade (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.26).	34
Abb. 14: Schematische Darstellung der Lokalisationen von intraventrikulären Erregungsausbreitungsstörungen. RSB: Unterbrechung des rechten Tawara-Schenkels (kompletter Rechtsschenkelblock); LSB: Unterbrechung des linken Tawara-Schenkels (kompletter Linksschenkelblock); Linksanteriöer Hemiblock (LAH), Linksposteriöer Hemiblock (LPH): Unterbrechung des linksanteriöen (LAH) oder linksposteriöen (LPH) Faszikels (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.52).	36
Abb. 15: Schematische Darstellung der charakteristischen elektrokardiografischen Befunde bei komplettem Schenkelblockbild (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.52).	37
Abb. 16: Charakteristische Befunde im Elektrokardiogramm bei komplettem Rechtsschenkelblock (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.53).	38
Abb. 17: Charakteristische Befunde im Elektrokardiogramm bei komplettem Linksschenkelblock (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.53).	39
Abb. 18: Charakterisierung kompletter und faszikulärer Schenkelblockierungen (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.55).	40
Abb. 19: Elektrokardiografische Befunde bei linksanteriöem Hemiblock im Vergleich zum Norm-EKG (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.56).	41
Abb. 20: Elektrokardiografische Befunde bei linksposteriöem Hemiblock im Vergleich zum Norm-EKG (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.56).	42
Abb. 21: <i>EKG-Lineal: Zur Bestimmung der Herzfrequenz (HF) legt man die Pfeilspitze der dargestellten Skala an eine R-Zacke an und misst dann den Abstand zur nächsten (1xRR, untere Teilskala) bzw. übernächsten R-Zacke (2xRR, obere Teilskala). Im vorliegenden Fall beträgt die HF 85/Min. Beachte: diese Skala eignet sich nur für EKGs mit einer Schreibgeschwindigkeit von 50 mm/sek (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.144)!.....</i>	44
Abb. 22.1: Millimeterpapier. 1 Großes Kästchen (Kantenbreite = 1 cm). 2 Kleines Kästchen (20 ms bei Schreibgeschwindigkeit von 50 mm/s) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.35).	45
Abb. 23.2: Bestimmung der Herzfrequenz. b Papiervorschub 25 mm/s (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.35).	45
Abb. 24: Schematische Darstellung der Q-Zacke im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.22).	46
Abb. 25: Darstellung normaler und pathologischer Q-Zacken (abnorm tiefes oder abnorm breites Q) im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.22).	46

Abb. 26: Schematische Darstellung von RS im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.22).	48
Abb. 27: Normale und pathologische Befunde von R- und S-Zacken im Elektrokardiogramm: Verzögerter R-Aufbau, R-Verlust bzw. S-Persistenz (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.23).....	48
Abb. 28: Ursachen von Schenkelblockierungen und faszikulären Blockierungen („Kabelprobleme“) im Vergleich zu Störungen der Erregungsausbreitung/-rückbildung durch intramyokardiale Störungen („Myokardprobleme“) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.23).	49
Abb. 29: Darstellung der ST-Strecke mit Markierung des J-Punktes (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).	50
Abb. 30: Schematische Darstellung von zwei pathologischen ST-Strecken-Hebungen: ST-Strecken-Hebung aus dem absteigenden R als Zeichen eines akuten Infarktes bzw. aus dem aufsteigenden S als Zeichen einer akuten Perikarditis (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).	51
Abb. 31: Formen von ST-Strecken-Senkungen im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).	52
Abb. 32: Darstellung der T-Welle im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).	52
Abb. 33: Formen von T-Wellen-Veränderungen im Elektrokardiogramm (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.24).....	54
Abb. 34: Elektrokardiografische Charakteristika einer supraventrikulären Extrasystole (SVES) (mod. n. Schuster & Trappe, 2017, S.97).	55
Abb. 35: Internationale Kriterien für elektrokardiographische Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern. AV (atrioventricular block) – Atrioventrikularblock; LBBB (left bundle branch block) – Linksschenkelblock; LVH (left ventricular hypertrophy) – linke ventrikuläre Hypertrophie; RBBB (right bundle branch block) – Rechtsschenkelblock; RVH (right ventricular hypertrophy) – rechte ventrikuläre Hypertrophie; PVC (premature ventricular contraction) – ventrikuläre Extrasystole; SCD (sudden cardiac death) – plötzlicher Herztod (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1467).	57
Abb. 36: Elektrokardiogramm eines 29-jährigen, männlichen, asymptomatischen Fußballspielers mit Sinus-Bradykardie (44 Schläge/ Min.), früher Repolarisation in I, II, aVF, V ₅ -V ₆ (Pfeile), Spannungskriterium für linksventrikuläre Hypertrophie (S-V ₁ + R-V ₅ > 35 mm), und große, spitze T-Wellen (Kreise). Dies sind typische, trainingsbezogene Ergebnisse bei Sportlerinnen und Sportlern und erfordern keine weitere Evaluation (mod. n. Ackerman et al., 2018, p. 1472).	60
Abb. 37 D: Abnormale T-Wellen-Inversion in V ₁ -V ₆ bei einem symptomatischen, erwachsenen, ehemaligem Fußballspieler mit nachgewiesener, genetischer, arrhythmogener, rechtsventrikulären Kardiomyopathie und einer familiären Prädisposition für das Auftreten vom plötzlichen Herztod (Bruder starb im Alter von 26 Jahren) (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1473).....	66

Abb. 38: Diese Abbildung stellt die „Teach-the-Tangent“- bzw. „Avoid-the-Tail“- Methode für die händische Messung des QT-Intervalls dar. Eine gerade Linie ist auf der negativen Steigung der T-Welle im Schnittpunkt mit der isoelektrischen Linie gezeichnet. Die U-Welle ist in die Messung nicht einbezogen (mod. n. Ackerman et al., 2018, p. 1477).....	70
Abb. 39: F: Ein Elektrokardiogramm demonstrierend das Brugada-Syndrom Typ 1 mit erhöhtem Abgang ($\geq 2\text{mm}$) der deszendierenden ST-Streckenhebung gefolgt von einer negativen, symmetrischen T-Welle in V_1 und V_2 (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1473).	72
Abb. 40: Das Elektrokardiogramm bei Vorliegen von Brugada-Syndrom Typ 1 (links) sollte von früher Repolarisation mit gewölbter ST-Streckenhebung bei einer trainierten Person (rechts) unterschieden werden. Die vertikalen Linien markieren den J-Punkt (ST_J) und den Zeitpunkt 80 ms nach dem J-Punkt (ST_{80}), für welche die Amplituden der ST-Streckenhebung berechnet werden. Die deszendierende ST-Streckenhebung beim Brugada-Syndrom kennzeichnet ein ST_J/ST_{80} -Verhältnis größer 1. Die frühe Repolarisation bei einer trainierten Person zeigt eine anfängliche, ascendierende ST-Streckenhebung mit einem ST_J/ST_{80} -Verhältnis kleiner 1 (mod. n. Ackerman et al., 2018, p.1479).....	72
Abb. 41: Charakteristische Unterschiede zwischen CardioSecur und einem konventionellen 12-Kanal-EKG (mod. n. CardioSecur - Knows Your Heart (Hrsg.). Wissenschaftlicher Hintergrund. [Studienabstracts], 2018, S.5).....	82
Abb. 42: EKG-Aufzeichnung einer 64-jährigen Frau mit Beschwerden von Herzpochen und diagnostiziertem Vorhofflimmern mit schneller, ventrikulärer Reaktion aufgenommen mit (A) Standard-EKG (B) S-ECG-R (Smartphonebasierter-EKG-Rekorder) (mod. n. Alanazi et al., 2019, p.577).....	86
Abb. 43: D-Heart-Systemkonfiguration: Bild A, B, C und D repräsentieren unterschiedliche EKGs von D-Heart wie auf dem Smartphone gezeigt. Bild E zeigt einen Patient im Kindesalter mit D-Heart-EKG-Tool (mod. n. Avvantaggiato et al., 2017, p.250).	91

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zuordnung der verschiedenen EKG-Elemente zum Verlauf der Erregung	20
Tab. 2: Internationale Kriterien für elektrokardiographische Interpretation bei Sportlerinnen und Sportlern: Definition der EKG-Kriterien	58
Tab. 3: Analyse elektrokardiographischer Abnormalitäten	64
Tab. 4: Eigenschaften der Studienteilnehmerinnen bzw. der Studienteilnehmer.....	88
Tab. 5: Kategorisierung der mobilen EKGs (D-Heart) und der Standard-12-Kanal-EKGs in „normal“, „leicht abnormal“ und „mittelmäßig abnormal“	92

Abkürzungsverzeichnis

80 ms nach Beginn der ST-Strecke	ST ₈₀
Abstand zw. 2 R-Zacken	RR (-Intervall)
American Heart Association	AHA
Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy (arrhythmogene, rechtsventrikuläre Kardiomyopathie)	ARVC
Atrio-Ventrikular	AV
Cohens Kappa (gewichtet)	k _w
corrected QT-Intervall (korrigiertes QT- Intervall)	QTc
Elektrokardiogramm	EKG
European Society of Cardiology	ESC
Glycerin-Trinitrat	GTN
Herzfrequenz	HF
King Abdulaziz Medical City	KAMC
Koronare Herzkrankheit	KHK
Langes-QT-Syndrom (Long QT Syndrom)	LQTS
Left Bundle Branch Block (Linksschenkelblock)	LBBB/ LSB
Linke Ventrikuläre Hypertrophie	LVH
Linker Ventrikel	LV
Linkes Atrium	LA
Links-Anteriorer Hemiblock/ Links-Posteriorer Hemiblock	LAH/ LPH
Millimeter	mm
Millimeter Quecksilbersäule	mmHg
Millisekunden	ms/ msec
Millivolt	mV
Minute	Min.
Mixed Venous Oxygen Saturation	SvO ₂
Non-ST-segment Elevation Myocardial Infarction	NSTEMI
Österreichisches Institut für Sportmedizin	ÖISM
Premature Ventricular Contraction (Ventrikuläre Extrasystole)	PVC/ VES
Pulmonary Vascular Resistance (Lungengefäßwiderstand)	PVR
Rechte Ventrikuläre Hypertrophie	RVH
Rechter Ventrikel	RV
Rechtes Atrium	RA
Right Atrial Pressure (rechter Vorhofdruck)	RAP
Right Bundle Branch Block (Rechtsschenkelblock)	RBBB/ RSB
Romhilt-Estes-Score	R-E (-Score)
Sekunde	s
Smartphone-based Electrocardiogram Recorder	S-ECG-R

Vergleich eines Smartphone-basierten 4-Elektroden-EKGs mit einem Standard-12-Kanal-EKG

ST-segment Elevation Myocardial Infarction	STEMI
ST-Strecke/ J-Punkt	ST _J
Sudden Cardiac Death (plötzlicher Herztod)	SCD
Supraventrikuläre Extrasystolen	SVES
T-Wellen-Inversion	TWI
Wolff-Parkinson-White	WPW
Zentimeter	cm

Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z.B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z.B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

