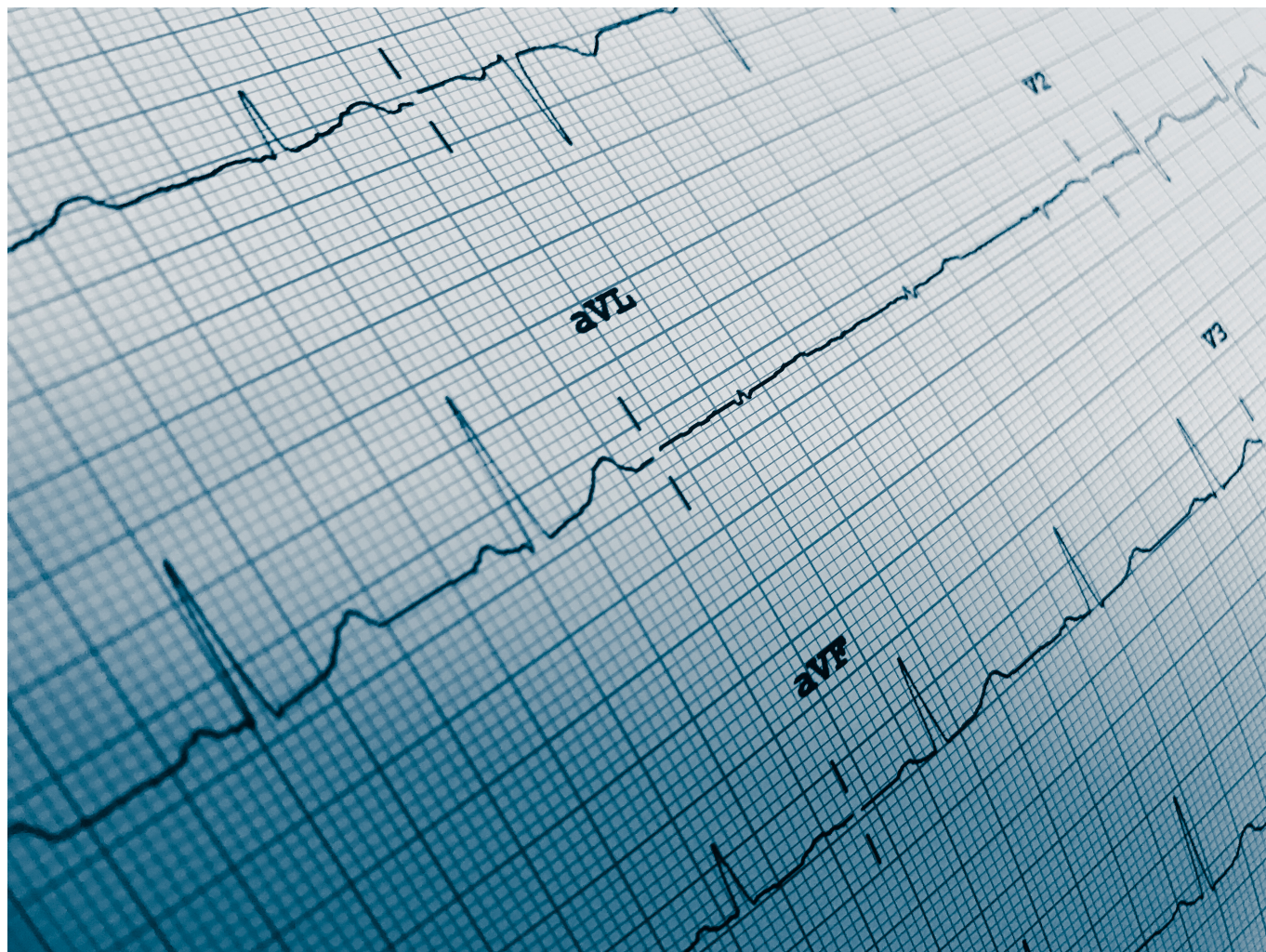


ORIGINAL ARTICLE

EKG and sports

CARDIOLOGY / PREPARTICIPATION / SPORTS AND YOUTH / SPORTS MEDICINE / TEAM MANAGEMENT



EKG und Sport

Löllgen RM¹, Löllgen H²

¹ Pediatric Emergency Department, Inselspital, 3010 Bern

² Praxis für Kardiologie, Daniel-Schürmann-Str. 14, 42853 Remscheid

Zusammenfassung

Über längere Zeit war die Rolle des Ruhe-EKG bei Sportlern umstritten, die Validität war unzureichend, bedingt durch falsch positive und falsch negative Befunde. In den letzten Jahren wurden aber Kriterien erarbeitet, die eine Abgrenzung eines normalen von einem pathologischen EKG-Befund beim Sportler erheblich verbessert haben. Normale Befunde beim Sportler können durch die neuen Kriterien von abnormen EKG-Bildern zuverlässig abgegrenzt werden, die Unterstützung durch eine entsprechende Software in den EKG-Geräten erleichtert dies. So sind Sinusbradykardie und Zeichen der Linkshypertrophie für den trainierten Sportler Normalbefunde. Abnorme Veränderungen werden hingegen bei strukturellen Herzkrankheiten mit Kardiomyopathien beobachtet sowie bei elektrischen Veränderungen, insbesondere bei Ionen-Kanalerkrankungen und dem Präexcitationssyndrom.

Die Beurteilung des EKG des Sportlers setzt eingehende und aktuelle Kenntnisse sowie umfangreiche Erfahrungen voraus. Die Bewertung kann nur stets im Zusammenhang mit Anamnese, klinischen Daten und ethnischer Herkunft erfolgen. Für sporttreibende Kinder sind zusätzliche Kenntnisse im EKG notwendig. Eine sportkardiologische Fortbildung ist heute dringend zu empfehlen, um Sportler jeden Alters, auch im Kindes- und Jugendalter, vor möglichen kardialen Zwischenfällen zu schützen.

Abstract

There was a longstanding controversy on the role of resting ECG in the preparticipation examination in athletes, as well as in children and adolescent, in leisure time or top athletes. Besides other arguments, this was due to the limited validity, to the false positive and false negative findings often followed by a thorough clinical examination. However, recent studies from different research groups yielded a significant improvement in establishing ECG criteria in athletes discriminating normal from abnormal or pathological findings in athletes. This in addition is supported and improved by a software-based ECG device considering the new Seattle criteria.

These new criteria from the Seattle conference reliably discriminate normal from abnormal findings. Frequent ECG findings in athletes, especially in those engaged in endurance sports showed sinus bradycardia, AV-block and signs of left ventricular hypertrophy. Abnormal findings are related to structural left ventricular alterations due to cardiomyopathy, mainly hypertrophic with or without outflow tract obstruction, arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC) and dilated cardiomyopathy.

ECG findings suggestive of electrical diseases are observed in channelopathies, WPW-syndrom supraventricular arrhythmias or disturbances of cardiac conduction. The main diseases are long or short QT-syndrom, Brugada-Syndrom and catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia.

Recently, atrial fibrillation, mostly paroxysmal, is also more frequently observed especially in middle age endurance athletes. Interpretation of ECG in young and older athletes deserves in depth knowledge in cardiology and sports medicine as well. ECG interpretation can only be done considering history, clinical examination and ethnicity. Profound and longtime

knowledge in athlete's ECG interpretation is required to protect athletes and to prevent cardiac emergencies.

Einführung

Das EKG bei Sporttreibenden bei Training mit höherer Intensität oder Trainingsumfang weist häufig Veränderungen auf, die trainingsbedingte Anpassungen des Herzens wiedergeben. Voraussetzung ist ein längeres, intensives Ausdauertraining über mehrere Monate. Es kommt zu muskulären Herzveränderungen mit einer exzentrischen Hypertrophie des Herzens und einer gleichmässigen, symmetrischen oder harmonischen Vergrösserung aller Herzkammern. Zusätzlich treten «elektrische» Veränderungen auf, bedingt durch eine Beeinflussung des neurohumoralen Systems, aber auch durch intrinsische Veränderungen des Reizleitungssystems speziell des Sinusknoten und der AV-Überleitung. Eine verbesserte Herzfrequenzvariabilität im Sinne eines gesteigerten Vagotonus ist ebenfalls eine typische sportbedingte Veränderung. Die Problematik der Befundung des Sportler-EKG liegt in der Unterscheidung von einem trainingsadaptierten sportbedingten Befund im EKG von pathologischen Veränderungen, wobei Überschneidungen möglich sind und die Abgrenzung erschweren.

EKG-Veränderungen

Die EKG-Veränderungen beim Sportler beruhen auf Veränderungen des Herzmuskels, vorwiegend durch eine Hypertrophie, auf Änderungen der Reizbildung und Reizleitung (elektrische Phänome). Von besonderer Bedeutung ist die Früherkennung pathologischer Befunde wie Kardiomyopathien (Mooges-Einteilung), Ionen-Kanal-Erkrankungen, WPW-Syndrom sowie seltener arrhythmogener Substrate [20] (Tab. 1). Die Früherkennung ist vor allem bei Kindern und Jugendlichen von Bedeutung, da angeborene Veränderungen des Herzens eine Gefährdung im Sport darstellen. Bei sorgfältiger Analyse des EKG können kardiale Ereignisse und eine Gefährdung durch plötzlichen Tod beim Sport erkannt und häufig verhindert werden. Aufgabe des Sportarztes ist somit die korrekte EKG-Analyse bei Sporttreibenden, um kardiale Zwischenfälle zu verhindern.

Zuverlässigkeit der EKG-Befundung

Die Beurteilungskriterien des EKG beim Leistungssportler sind in den letzten acht Jahren erheblich zuverlässiger geworden [1–7]. Vor allem haben die Ergebnisse der Seattle-Konferenz 2012 [8–11], ergänzt durch eine Analyse aus der Londoner-Arbeitsgruppe [12–13] die Kriterien weiter validiert. In Kürze werden die neuen internationalen Kriterien publiziert, die weiter verbesserte Definitionen und Kriterien bringen werden. Zu erwarten ist, dass sportbedingte EKG-Veränderungen so zuverlässiger erfasst und von pathologischen Veränderungen abgegrenzt werden können [14–15]. Bereits mit den bisherigen Kriterien sind falsch positive und falsch negative Befunde deutlich geringer geworden, der prädiktive Wert des Ruhe-EKG wird erheblich gesteigert [1,3,4]. Zusätzlich erweist sich die «software-gesteuerte» EKG-Analyse

neuerer EKG-Geräte anhand der Seattle-Kriterien als zuverlässiger («richtiger» und «präziser») [1,16,19] als die visuelle Interpretation [14,17]. Für den weniger erfahrenen Arzt wird damit die EKG-Beurteilung beim Sportler erleichtert, ersetzt aber nicht die Schulung in Sport-EKG und Sportkardiologie [18].

Einteilung der EKG-Veränderungen

Normale EKG-Befunde, unter Beachtung der physiologischen Anpassungen bei Sportlern, sind bedingt durch ein regelmässiges Training und sind als normale Varianten bei Sportlern anzusehen, sie bedürfen keiner weiteren Abklärung bei asymptomatischen Sportlern (Tab. 2) [8–11,18–20].

Abnorme EKG-Befunde bei Sportlern: Hinweis auf mögliche Veränderungen im Sinne einer Kardiomyopathie (weitere Abklärung erforderlich)

Abnorme EKG-Befunde bei Sportlern: Hinweise auf eine mögliche «elektrische» Herzkrankheit, eine weitere Abklärung ist erforderlich. Auf die ausführliche Darstellung der Seattle-Arbeitsgruppe und in aktuellen Arbeiten [6,8–11,18] sei hingewiesen. Normale Befunde sind vor allem die Sinusbradykardie (Abb. 1), AV-Blockierungen und erhöhte Spannungskriterien für die R-Zacke sowie negative T-Wellen (Tab. 2).

EKG-Veränderungen mit Hinweisen auf Kardiomyopathien

Die hypertrophe Kardiomyopathie ist besonders bei Afro-Amerikanischen Sportlern häufiger zu beobachten als bei weissen Sportlern [10–13,21]. Hier ist stets eine Abgrenzung zur physiologischen Hypertrophie zu treffen. Die ausführliche Beschreibung der charakteristischen EKG-Kriterien findet sich bei Drezner et al. [10]. Ein wegweisender Befund ist die tiefe T-Negativierung in mehreren Brustwandableitungen (Abb. 2), wenngleich in seltenen Fällen noch normale Befunde bei der weiteren Diagnostik vorliegen können (Abb. 2). Ein Linksschenkelblock bei Sporttreibenden ist pathologisch, eine weitere Abklärung ist immer erforderlich, ebenso bei Synkopen und bei Kammertachykardien mit Verdacht auf eine ARVD (Abb. 7). Eine diagnostische Hilfe beim ARVD ist der Parietalblock mit QRS in $(V1+V2+V3)/V4+V5+V6 > 1.2$ [22,23].

Weitere Leitsymptome bei Sportlern, die einer Abklärung bedürfen, sind ungewohnte Dyspnoe, Brustschmerzen, besonders bei Belastung, Palpitationen, Synkopen und neue Müdigkeit oder Schwäche als Hinweis auf Übertraining.

Veränderungen mit Hinweisen auf eine «elektrische» Herzerkrankung

Vor allem Ionenkanalerkrankungen sind bei Sportlern nicht selten Ursache für einen plötzlichen Herztod [11–13,24–27]. Ein langes QT-Syndrom (LQT) ist häufig angeboren, kann aber auch erworben sein [20]. Zahlreiche Medikamente können ein langes QT-Syndrom auslösen (www.qt.com). Das typische EKG-Bild sind die torsades de pointes, die selten auch bei anderen arrhythmischen Ereignissen auftreten können. Die weiteren diagnostischen Kriterien

finden sich bei Priori et al. [25]. Ein erhöhtes Risiko für ventrikuläre Rhythmusstörungen auf dem Boden eines LQT besteht beispielsweise bei Sportlern bei Gabe eines Makrolid-Antibiotikums, gleichzeitigem Antiallergicum und Flüssigkeitsverlust mit Elektrolytverschiebungen.

Neben dem langen QT-Syndrom ist aber auch eine frühe Repolarisation oder ein kurzes QT-Syndrom zu beachten [9,11,25,26]. Es kommt bei Sportlern vor, scheint aber nicht die ungünstige Prognose zu bedeuten wie bei Normalpersonen. Bekannt ist dieser EKG-Befund auch als Osborn-Welle. Sie wird typischerweise bei Unterkühlung beobachtet.

Bedeutsam ist das Brugada-Syndrom bei Sportlern, hier ist im Ruhe-EKG sorgfältig auf mögliche Zeichen zu achten. Synkopen können ein wichtiger Hinweis sein (Abb. 3). Die Kriterien zur Diagnose eines Brugada-Syndroms sind ausführlich dargestellt [27,28].

Schliesslich spielt das WPW-Syndrom bei Sportlern eine Rolle durch mögliche supraventrikuläre Tachykardien und mit intermittierendem Vorhofflimmern. Bei Letzterem ist ein Herzstillstand möglich, da die akzessorische Bahn bei Vorhofflimmern 1:1 überleitet und damit formal und funktionell einem Kammerflimmern gleicht. Bei jedem Leistungssportler mit WPW-Syndrom ist je nach Häufigkeit von Arrhythmien und Gefährdung (z.B. Schwimmen, Wassersport) eine Ablation zu erwägen. Bei einer Refraktärzeit unter 240 ms des akzessorischen Bündels wird eine Ablation empfohlen [29]. Die ausführliche Darstellung der genetischen Komponenten werden von Priori beschrieben in einem ausführlichen Konsensus-Statement [25].

Schliesslich muss im Ruhe-EKG stets auf Kriterien für eine arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie geachtet werden, eine pathognomische Epsilon-Welle ist selten, die ausführliche Liste der Major- und Minorkriterien sind ausführlich dargestellt [28]. Eine Abgrenzung zu einer Herzvergrösserung mit Rechtsherzvergrösserung beim Sportherzen ist mitunter schwierig zu treffen [30].

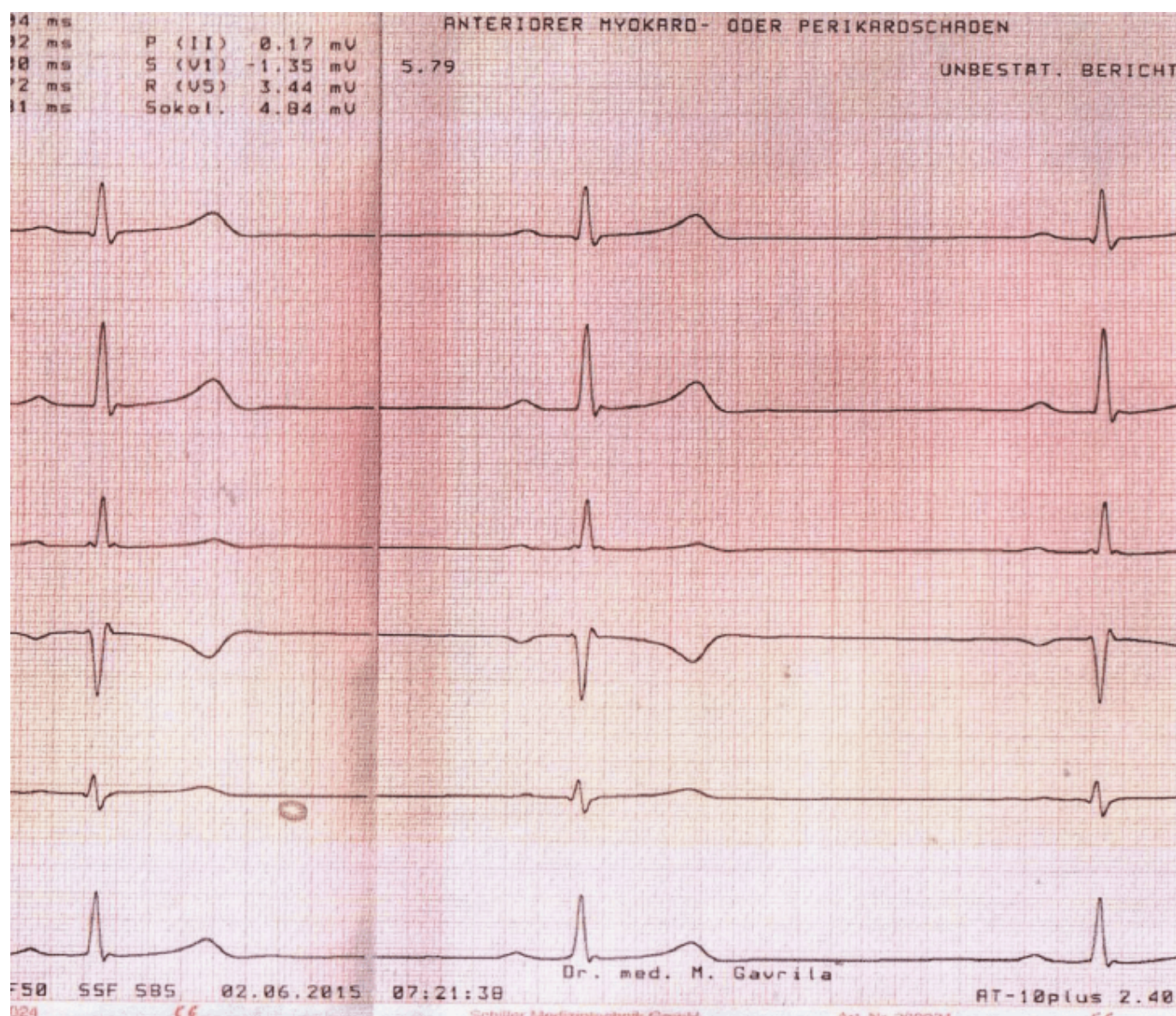


Abb. 1: Ruhe-EKG eines Marathonläufers (160 km/Woche) mit Ruheherzfrequenz um 30/min, Normalbefund. Klinik: Keine Symptomatik, sportkardiologisch o.B. Herzfrequenzvariabilität sehr gut.

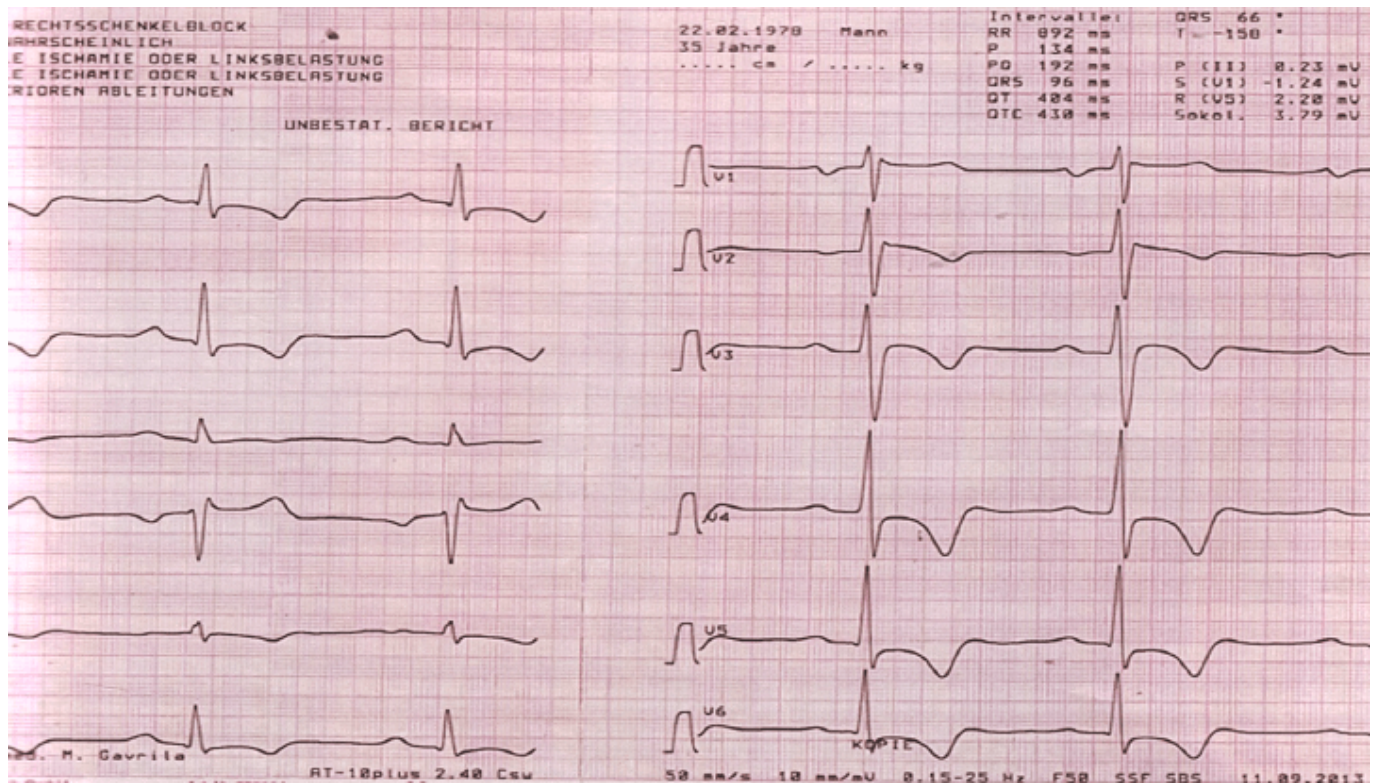


Abb. 2: 35-jähriger Fussballspieler mit Migrationshintergrund (südl. Türkei), Zufallsbefund im EKG: T-Negativierung tief über alle Brustwandableitungen sowie in Abl. I und II, aVL, avF. Kardiologische Abklärung durch Kardiologen und Sportkardiologen: keine strukturelle Herzkrankheit. Keine Beschwerden. Kernspinuntersuchung abgelehnt. Sport mit moderater Intensität erlaubt, jährliche Kontrollen empfohlen.

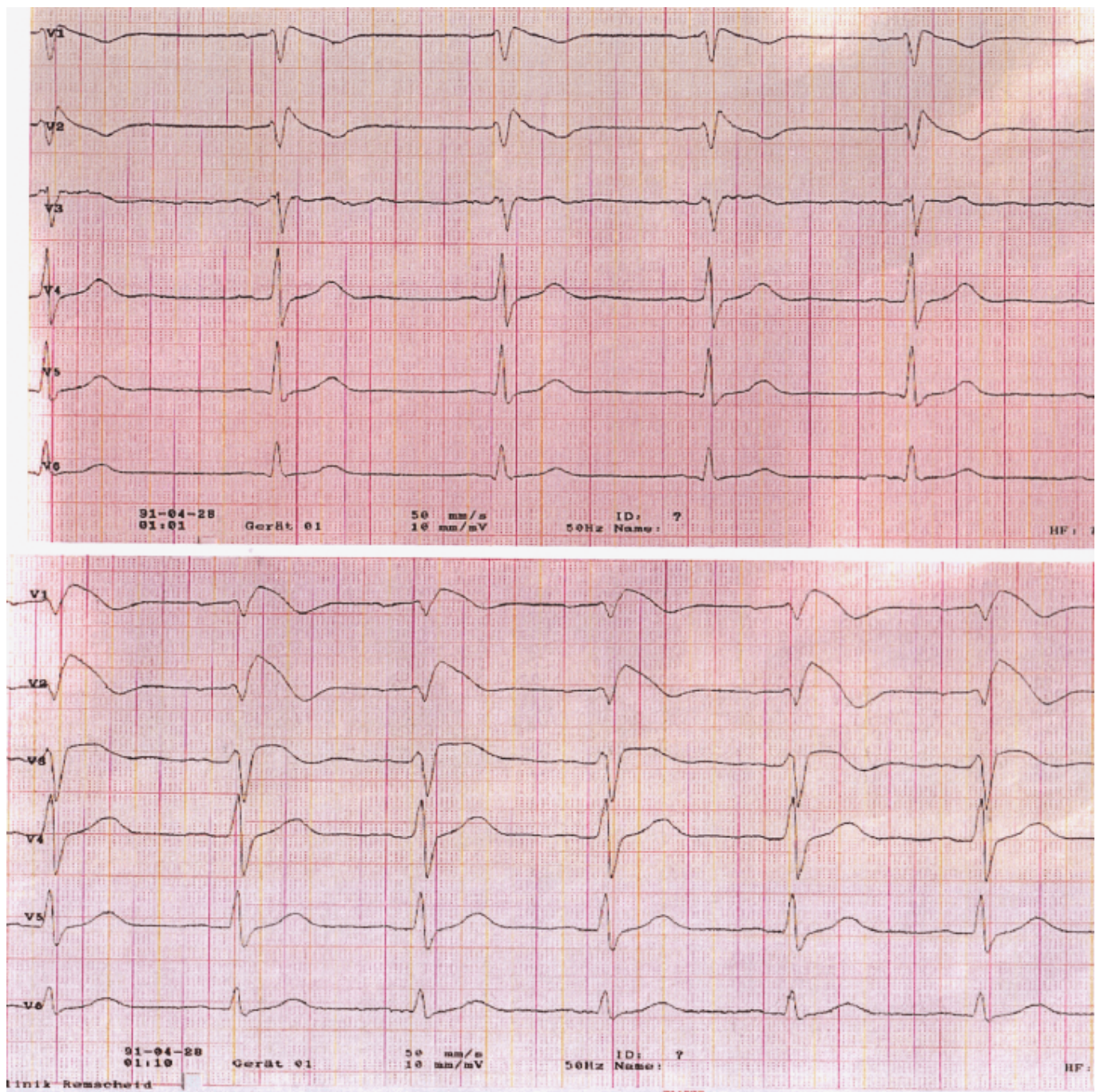


Abb. 3: Etwas abnorm breiter QRS-Komplex bei Rechtsschenkelblock, Verdacht auf Brugada-Syndrom.

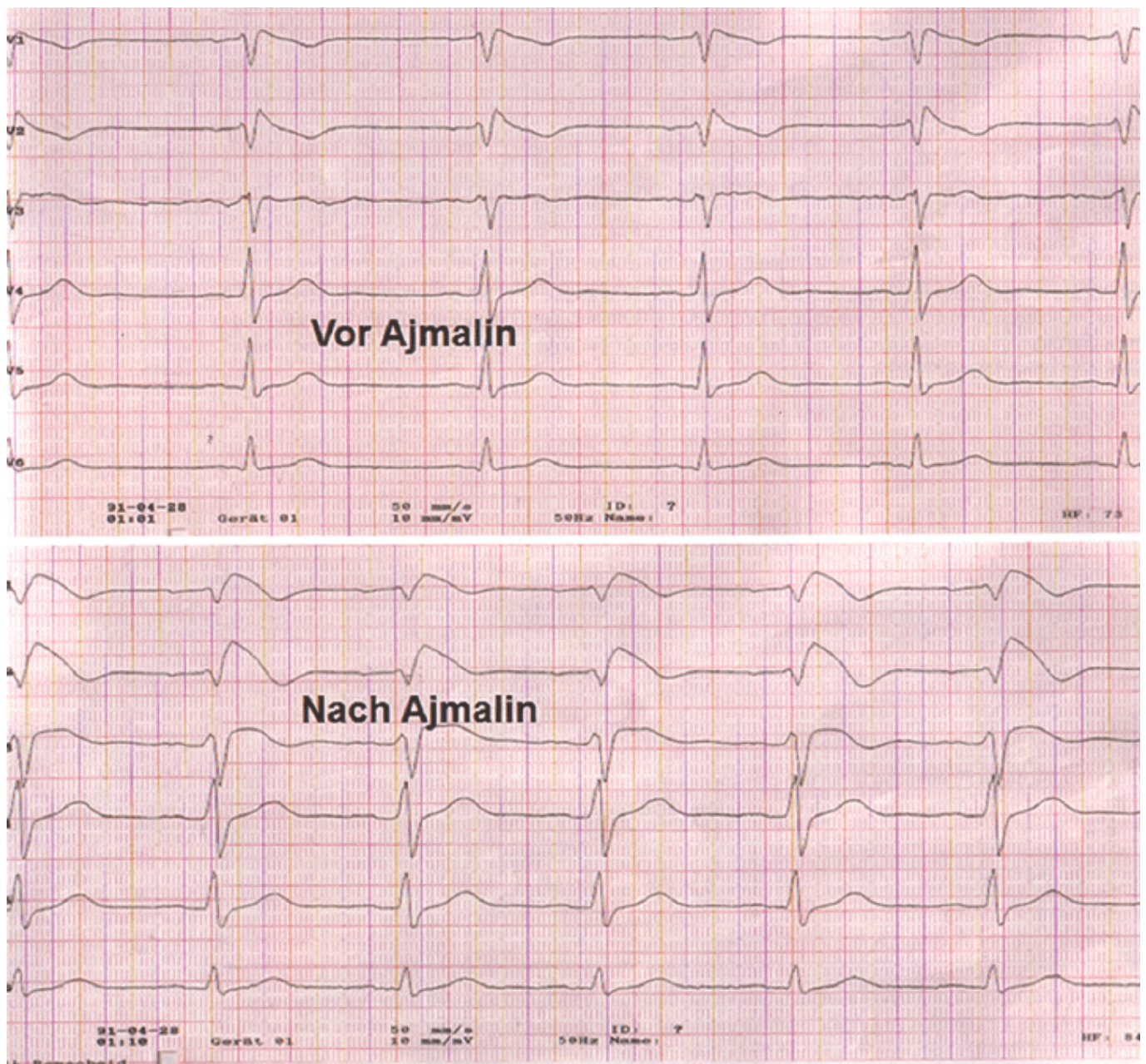


Abb. 4: EKG vor (oben) und nach (unten) Gabe von Ajmalin i.v. Typisches Bild wie bei Brugada-Syndrom. Klinik: Rezidivierende Synkopen beim Fussballsport. Elektrophysiologisch leicht auslösbare Kammertachykardien. Indikation zur Implantation eines Defibrillators.

(Papiergeschwindigkeit 50 mm/s sofern keine andere Geschwindigkeit angegeben ist.)

Rhythmusstörungen ohne genetischen Hintergrund

Supraventrikuläre Arrhythmien treten beim Sportler ebenso wie in der Normalbevölkerung auf. Leitsymptom sind Palpitationen. Ventrikuläre Extrasystolen sind beim Sportler seltener als in der Normalbevölkerung, nur bei grösserer Häufigkeit (z.B. mehr als 2 in 10 sec. Registrierdauer) ist eine Abklärung erforderlich, stets unter Beachtung von Anamnese und

Symptomatik. Ventrikuläre Salven und nicht-anhaltende ventrikuläre Tachykardie sind immer abklärungsbedürftig.

Von aktueller Bedeutung ist das intermittierende Vorhofflimmern bei überwiegend älteren Ausdauersportlern, die über viele Jahre aktiv sind. Es tritt eher im mittleren Alter auf und wird vom Sportler meist als Palpitation bemerkt. Eine schlüssige Erklärung liegt bisher nicht vor [6,7,18]. Eine Variante des Vorhofflimmerns tritt als parasympathische (bradykarde) Form auf mit nächtlichem Vorhofflimmern. Neben einer neurohumoralen Komponente soll die Vergrößerung des linken Vorhofes («atrialess stretching») eine Rolle spielen, nicht erkannte entzündliche Veränderungen wie auch «Narben» werden ebenfalls vermutet. Eine Pulmonalvenenisolation (PVI) ist heute Therapie der Wahl.

Anschliessend kann in der Regel der Sport weiterbetrieben werden. Allerdings ist anschliessend vom Hochleistungssport abzuraten, Freizeitsport bis hin zum Marathon (ohne Ehrgeiz) ist möglich. Der Sportler ist darüber zu informieren, dass bei der Ablation auch parasympathische Ganglien mitbetroffen sein können. Dadurch ist nach der Intervention der Ruhepuls oftmals erhöht, kann aber durch das Ausdauertraining wieder «normalisiert» werden, d.h. auf eine trainingsbedingte Bradykardie zurückgeführt werden.

Seltener ist ein Vorhofflimmern bei Contusio cordis, hier kann auch gelegentlich ein Kammerflimmern auftreten.

Ein weiterhin genetisch bedingtes Krankheitsbild stellt das Marfan-Syndrom dar, es tritt mitunter auch abortiv aus. Besonders betroffen sind die hochwüchsigen Sportler, vor allem Basketballspieler, aber auch Ruderer oder Volleyballspieler. Die diagnostischen Kriterien müssen bei der sportärztlichen Untersuchung systematisch untersucht und erfasst werden [2,5,8–11].

EKG-Veränderungen (21a, 26a)

Schulterförmiges EKG (coved type) oder «saddleback»
in mindestens 2 Ableitungen plus mind. 1 klinisches
Kriterium:

dokumentierte Arrhythmie (polymorphe VT oder VF)
arrhythmiebezogene Symptome wie Synkope oder
nächtl. agonale Atmung
pos. Familienanamnese

Rechtsschenkelblock – Bild mit hohem Abgang der
ST-Strecke
mit descendierend verlaufender ST-Strecken-Hebung in
V1–V3 mit negativem T
fragmentierter QRS-Komplex
evtl. Knotung im descendierenden Teil von QRS

Verstärkung der St-Hebung während oder nach Belastung,
VES mit LSB-Muster

Bei Verdacht Ajmalin-Test (unter klin. Bedingung), Provo-
kation des Vollbildes (Abb. 3–4)

Tab. 4: Diagnose des Brugada-Syndroms (siehe auch Abb. 3–4).

	Typ 1	Typ 2	Typ 3
J-Amplitude	$\geq 0.2\text{mV}$	$\geq 0.2\text{mV}$	$\geq 0.2\text{mV}$
T-Welle	negativ	positiv oder biphasisch	positiv
ST-Konfiguration	gewölbt («coved»)	sattelförmig («saddle-back»)	sattelförmig («saddle-back»)
Terminale ST-Strecke	leicht abfallend	gehoben $\geq 0.1\text{ mV}$	gehoben $< 0.1\text{ mV}$

Tab. 5: EKG-Veränderungen beim Brugada-Syndrom.

EKG und Sport bei Kindern und Jugendlichen

Analysen plötzlicher kardialer Zwischenfälle im Sport zeigen, dass dieses Ereignis, auch der plötzliche Tod, mitunter die Erstmanifestation einer meist genetisch bedingten Veranlagung ist. Plötzliche Todesfälle beim Schwimmen sind nicht selten Folge einer LQT1-Syndroms [26]. Potenziell pathologische EKG-Befunde bei sporttreibenden Jugendlichen sind selten, weisen aber auf okkulte Erkrankungen hin. Die EKG-Veränderungen bei Kindern müssen aber stets auf pathologische Abweichungen hin geprüft werden. Bei Kindern besteht post partum meist ein Rechtstyp, bei Kleinkindern (bis etwa 6. Lj.) eher ein Steiltyp, der sich beim Jugendlichen zum Indifferenz- und Linkstyp entwickelt. Überdrehte Lagetypen sind pathologisch, so bei kongenitalen Fehlbildungen. AV-Blockierungen sind häufig bei Kindern. Die QRS-Dauer wie auch die R-Zacken-Amplitude sind altersabhängig, ebenso die korrigierte QT-Dauer [7,31,32]. Immerhin fordern pädiatrische Kardiologen ein Ruhe-EKG als Standarduntersuchung bei Kindern und Jugendlichen (z.B. U-Untersuchungen in Deutschland) [6,7,14]. Voraussetzungen sind aber zuverlässige Kenntnisse der EKG Befunde im Kindes- und Jugendalter. Die Interpretation kann auch hier durch Software gesteuerte EKG-Geräte-Analyse verbessert werden. Schwerpunkt der EKG-Untersuchung sollten Ionenkanalerkrankungen, WPW-Syndrom und mögliche Herzmuskelerkrankungen (z.B. Linkshypertrophie) sein. Eine eigene Beobachtung zeigte bei einem neunjährigen Jungen mit Herzstillstand beim Laufen in der Obduktion eine deutliche Septumhypertrophie mit typischen pathologischen Q-Zacken im EKG 2 Jahre vor dem Tod.

EKG bei älteren Sportlern

Bei älteren Sportlern (< 35 J.), vor allem Freizeitsportlern, ist die koronare Herzkrankheit die häufigste Ursache für kardiale Zwischenfälle im Sport. Das Ruhe-EKG ist bei diesen Sportlern nur selten diagnoseweisend. Hier ist ein Belastungs-EKG erforderlich, wobei unbedingt eine erschöpfende Ausbelastung erforderlich ist. Eigene Beispiele an sehr gut trainierten Marathonläufern ergaben erst bei 250 Watt oder mehr eine Ischämiereaktion bei koronarer Eingefässerkrankung.

EKG im Rahmen der sportärztlichen Vorsorgeuntersuchung

Die Bedeutung des Ruhe-EKG in der sportärztlichen Vorsorgeuntersuchung ist in einer grossen Zahl von Publikationen diskutiert und bewertet worden. Grundsätzlich wird in den USA lediglich die Anamnese und körperliche Untersuchung durchgeführt. Ein EKG habe in prospektiv randomisierten Studien nicht zu einer Senkung der Mortalität beigetragen. Daneben wird eine Vielzahl von Gegenargumenten vorgetragen [14]. Die europäischen Sportärzteverbände, mit wenigen Ausnahmen, empfehlen jedoch, das EKG durchzuführen. Zum einen wäre eine prospektive Studie nur mit sehr hohen Fallzahlen durchzuführen, um eine Senkung der Mortalität (Harter Endpunkt) im Sport im Vergleich zur niedrigen Mortalität in der Normalbevölkerung nachweisen zu können. Hierfür fehlt zudem ein Sponsor. Von wesentlicher Bedeutung ist aber, dass die aktuelle Empfehlung zu den EKG-Kriterien, zusammen mit einer sehr zuverlässigen PC-EKG-Auswertung, die Validität und Zuverlässigkeit des Ruhe-EKG wesentlich verbessert haben [1]. So sind Spezifität und Sensitivität des EKG im Rahmen der sportärztlichen Untersuchung sogar deutlich besser als Anamnese und klinische - Untersuchung. Zu den weiteren Diskussionspunkten sei in diesem Rahmen auf die aktuellen Publikationen verwiesen. Bemerkenswert ist auch, dass die US-Empfehlungen sich allmählich den europäischen annähern, vorausgesetzt, das EKG wird von qualifizierten Sportärzten beurteilt und die neuesten Beurteilungskriterien werden zugrunde gelegt [32,33,34,35].

Fazit

Die Beurteilung des EKG des Sportlers setzt eingehende und aktualisierte Kenntnisse und umfangreiche Erfahrungen voraus. Die Bewertung kann nur im Zusammenhang mit Anamnese, klinischen Daten und ethnischer Herkunft erfolgen. Eine sportkardiologische Fortbildung des Untersuchers ist wünschenswert [18]. Unverändert gehört ein automatischer externer Defibrillator immer in die Nähe von Sportereignissen (Sporthallen, Sportplätze). Die Ausbildung in kardio-pulmonaler Reanimation muss regelmässig bei allen Personen im Sportbereich geübt werden. Dies betrifft Übungsleiter, Trainer und Ärzte, vor allem aber den Sportler selber. Hinweise hierzu sollten an allen Sportstätten vorhanden sein, auch sichtbare Wegweiser zum Ort des automatischen externen Defibrillators sind unbedingt erforderlich.

Interessenskonflikte

Es bestehen keine Interessenskonflikte.

Die Arbeit enthält keine Studien an Menschen oder Tieren.

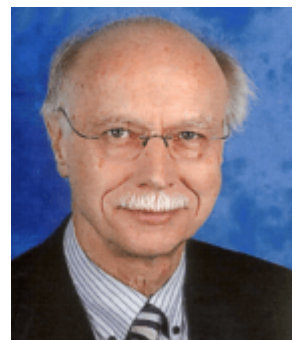
Nach Drucklegung sind die neuen internationalen Empfehlungen zu EKG-Beurteilungen inoffiziell bekannt geworden, die hier dargestellten Empfehlungen bleiben aber weitgehend erhalten, bis auf einige Hypertrophiezeichen.

Korrespondenz

Dr. med. Ruth M.C. Löllgen
Consultant Pediatric Emergency
Physician
Pediatric Emergency Department
Inselspital, 3010 Bern
Switzerland
Clinical Lecturer (University of Sydney)
ruth.loellgen@gmail.com;
ruth.loellgen@insel.ch



Prof. Dr. med. Herbert Löllgen,
FACC, FAHA, FFIMS
Innere Medizin, Kardiologie,
Sportkardiologie
EFSMA Scientific and Educ.
Commission (Chairman)
Praxis für Kardiologie
Daniel-Schürmann-Str.14
42853 Remscheid
herbert.loellgen@gmx.de;
Telefon 0219165354



Literaturangaben

1. Abächerli R, Leber R, Schmid R, Schmid JJ, Kobza R, Schmied C (2015) Six Percent of Young Males ECGs are automatically detected as abnormal when applying the Seattle Criteria to a General Population Abstract (P1088) bei der 81.Jahrestagung der DGK, Mannheim.
2. Baggish AL: A decade of athletes ECG criteria: Where we've come and where we're going. J.Electrocardiogr 2015.doi.10.1016/j.electrocard.2015.02.002.
3. Corrado D, Pelliccia A, Heidbuchel H, Sharma S, Link M, Basso C, Biffi A, Buja G, Delise P, Gussac I, Anastasakis A, Borjesson M, Bjornstad HH, Carre F, Deligiannis A, Dugmore D, Fagard R, Hoogsteen J, Mellwig KP, Panhuyzen-Goedkoop N, Solberg E, Vanhees L, Drezner J, Estes NA, 3rd, Iliceto S, Maron BJ, Peidro R, Schwartz PJ, Stein R, Thiene G, Zeppilli P, McKenna WJ. (31) Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. Eur. Heart J. 2010;243-259.

4. Fudge J, Harmon KG, Owens DS, Prutkin JM, Salerno JC, Asif IM, Haruta A, Pelto H, Rao AL, Toresdahl BG, Drezner JA: Cardiovascular screening in adolescents and young adults: a prospective study comparing the Pre-participation Physical Evaluation Monograph 4th Edition and ECG Br J Sports Med. 2014;48:1172-1178.
5. Lawless C (ed.) Protecting the heart of the American athletes. (64) J Am Coll Cardiol 2014;2146-2171.
6. Löllgen H: Das EKG beim Sportler. Herzschr Elektrophys 2015;26: 274-290.
7. Vetter VL: Should electrocardiographic (ECG) screening of all infants children, and teenagers be performed? Electrocardiographic screening of all infants, children, and teenagers should be performed. Circulation 2104, 130:688-697.
8. Drezner JA, Drezner JA, Ackerman MJ, Anderson J, Ashley E, Asplund CA, Baggish AL, Börjesson M, Cannon BC, Corrado D, DiFiori JP, Fischbach P, Froelicher V, Harmon KG, Heidbuchel H, Marek J, Owens DS, Paul S, Pelliccia A, Prutkin JM, Salerno JC, Schmied CM, Sharma S, Stein R, Vetter VL, Wilson MG. (47) Electrocardiographic interpretation in athletes: the 'Seattle criteria'. Brit J Sports Med 2013: 122-124.
9. Drezner JA, Fischbach P, Froelicher V, Marek J, Pelliccia A, Prutkin JM, Schmied CM, Sharma S, Wilson MG, Ackerman MJ, Anderson J, Ashley E, Asplund CA, Baggish AL, Börjesson M, Cannon BC, Corrado D, DiFiori JP, Harmon KG, Heidbuchel H, Owens DS, Paul S, Salerno JC, Stein R, Vetter VL. (47) Normal electrocardiographic findings: recognising physiological adaptations in athletes. Brit J Sports Med, 2013: 125-36.
10. Drezner JA, Ashley E, Baggish AL, Börjesson M, Corrado D, Owens DS, Patel A, Pelliccia A, Vetter VL, Ackerman MJ, Anderson J, Asplund CA, Cannon BC, DiFiori J, Fischbach P, Froelicher V, Harmon KG, Heidbuchel H, Marek J, Paul S, Prutkin JM, Salerno JC, Schmied CM, Sharma S, Stein R, Wilson M. (47) Abnormal electrocardiographic findings in athletes: recognising changes suggestive of cardiomyopathy. Brit. J Sports Med, 2013:137-52.
11. Drezner JA, Ackerman MJ, Cannon BC, Corrado D, Heidbuchel H, Prutkin JM, Salerno JC, Anderson J, Ashley E, Asplund CA, Baggish AL, Börjesson M, DiFiori JP, Fischbach P, Froelicher V, Harmon KG, Marek J, Owens DS, Paul S, Pelliccia A, Schmied CM, Sharma S, Stein R, Vetter VL, Wilson MG.(4) Abnormal electrocardiographic findings in athletes: recognising changes suggestive of primary electrical disease. Brit J Sports Med., 2013:153-167.
12. Sharma S, Mergghani A, Mont L: Exercise and the heart: The good, the bad and the ugly. Europ H J, 2015,doi 10.1093/eurheartj/ehv090.
13. Sheikh N, Papadakis M, Ghani S: Comparison of electrocardiographic criteria for the detection of cardiac abnormalities in elite black and white athletes. Circulation. 2014, 129:1637-1649.
14. Löllgen H, Börjesson M, Cummiskey J, Bachl N, Debruyne A (66) The pre-participation examination in sports. EFSMA statement on ECG for Pre-Participation.
15. Riding, N.R, Sheikh N, Adamuz C, Watt V, Faroop A, Whyte GP, George KP, Drezner JA, Sharma S, Wilson MG: Comparison of three current sets of electrocardiographic interpretation criteria for use in screening athletes. Heart 2014;0:1-7. doi:10.1136/heartjn+.
16. Berge HM, Steine K, Andersen TE, Solber EE, Gjesdal K (48) Measurement methods is important for interpretation of athlete's ECG. Br J Sports Med 2014;567-568 doi:10.1136/bjsports-2014-093494.22.
17. Berge HM, Steine K, Andersen TE, Solberg EE, Gjesdal K. (48) Visual or computer-based measurements: important for interpretation of athletes' ECG. Br J Sports Med. 2014 May; (9):761-7. doi: 10.1136/bjsports-2014-093412. Epub 2014 Feb 21.
18. Scharhag J, Burgstahler C (64) Das Sportler-EKG: Aktuelle Interpretationen und Empfehlungen. Dtsch Zschr Sportmed. 2013:352-356.
19. Harmon K G., Zigman M, Drezner JA: Sensitivity, specificity and positive predictive value of history, physical exam, and ECG to detect potentially lethal cardiac disorders in athletes: a systematic review, J

- Electrocard (2015), doi: 10.1016/j.jelectrocard.2015.02.001.
20. Brosnan M, La Gerche A, Kalman J, Lo W, Fallon K, MacIsaac A, Prior D. The Seattle Criteria increase the specificity of preparticipation ECG screening among elite athletes. *Br J Sports Med*, 2014. 48(15): p. 1144-50.
21. Maron BJ, Friedman RA, Kligfield P, (64) Assessment of the 12-lead electrocardiogram as a screening test for detection of cardiovascular disease in healthy general populations of young people (12-25 years of age): A scientific statement from the American Heart Association and the American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol*. 2014;1479-1514.
22. Saguner AM, Brunckhorst C, Duru F: Die arrhythmogene rechtsventrikuläre Dysplasie/Kardiomyopathie. Eine unterschätzte Erkrankung? *Cardiovasc Med* 2011;14:303-314.
23. Herren T, Gerber PA, Duru F: Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: a not so rare "disease of the desmosome" with multiple clinical presentations *Clin Res Cardio*, 2009, 98:141-158.
24. Löllgen H, Löllgen R: (8) Genetics, genetic testing and sports: Aspects from sports cardiology. *Genomics, Society, and Policy* 2012:32-47.
25. Priori SG, Wilde AA, Horie M, Cho Y, Behr ER, BerulC, Blom N, Brugada J, Chiang CE, HRS/EHRA/APHRS Expert Consensus Statement on the Diagnosis and Management of Patients with Inherited Primary Arrhythmia Syndromes *Heart Rhythm*. 2013 Dec;10(12):1932-63. doi: 10.1016/j.hrthm.2013.05.014. Epub 2013 Aug 30.
26. Ackerman MJ, Priori S G, Willems S, Berul C, Brugada R, Calkins H, Camm AC, Ellinor PT, Gollob M, Hamilton R, Hershberger RE, Judge DP, Le Marec H, McKenna WJ, Schulze-Bahr E, Semsarian C, Towbin JA, Hugh Watkins H, Arthur Wilde A, Wolpert C P. Zipes DP: HRS/EHRA Expert Consensus Statement on the State of Genetic Testing for the Channelopathies and Cardiomyopathies *Europace* (2011) 13, 1077-1109.
27. Antzelevitch C, Brugada P, Borggrefe M, Brugada J, Brugada R, Corrado D, Gussak I, LeMarec H, Nadamnee K, Riera ARP, Shimizu W, Schulze-Bahr, E Tan H, Wilde A.: Brugada Syndrome *Heart Rhythm*, 2005;2:429-440.
28. Trappe H.-J.: Brugada-Syndrom *Kardiologe* 2009;37: 309-318.
29. Santinelli V, Radinovic A, Manguso F, Vicedomini G, Gulletta S, Paglino G, Mazzone P, Ciconte G, Sacchi S, Sala S, Pappone C, (2009): The Natural History of Asymptomatic Ventricular Pre-Excitation. A Long-Term Prospective Follow-Up Study of 184 Asymptomatic Children *J Am Coll Cardiol*. 53:275-280.
30. D'Ascenzi F, Pisichio C, Caselli S, Di Paolo FM, Spataro A, Pelliccia A: RV remodeling in olympic athletes *JamColl Cardiol* 2016 doi.org/10.1016/j.jcamg.2016.03.017.
31. Drezner JA, Harmon KG, Asif IM, Marek JC: Why cardiovascular screening in young athletes can save lives: a critical review *BJSM*: DOI 10.1136/bjsports2016 096606.
32. Trappe H.-J.: 12-Kanal-Elektrokardiogramm bei Kindern und Jugendlichen. *Kardiologe* 2014;42:290-301.
33. Harmon KG, Drezner JA, O'Connor FG, Asplund C, Finnoff JT: Should electrocardiograms be part of the preparticipation physical examination? *Advanced Sports Medicine Concepts & Controversies Phys.Med.Rehab*. 2016, 8, S24-S35.
34. Hainline B, Drezner JA, Baggish A, Harmon KG, Emery MS, Myerburg RJ, Sanchez E, Molossi S, Parsons JT, Thompson PD: Interassociation consensus statement on cardiovascular care of college student-athletes. *J Am CollCardiol* 2016: Hainline: *Journal Am Coll Cardiol* 2016;67:2981-2995.
35. Roberts WO, Löllgen H, Matheson GO, Royalty AB, Meeuwisse WH, Levine B, Hutchinson MR, Coleman N, Benjamin HJ, Spataro A, Debruyne A, Bachl N, Pigozzi F, (24) Advancing the preparticipation physical evaluation: An ACSM and FIMS joint consensus statement. *Clin J Sport Med* 2014;442-447.

ECG AT REST ECG CRITERIA HIGH PERFORMANCE SPORT LEISURE TIME ACTIVITY RISK AND SAFETY IN
SPORTS