

Monatsschr Kinderheilkd 2019 · 167:1157–1161  
<https://doi.org/10.1007/s00112-019-00796-9>  
Online publiziert: 22. November 2019  
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von  
Springer Nature 2019

Redaktion

A. Borkhardt, Düsseldorf  
S. Wirth, Wuppertal



Jannos Siaplaouras<sup>1,5</sup> · Christian Apitz<sup>1</sup> · Peter Fritsch<sup>2</sup> · Matthias Wilhelm<sup>3</sup> · Susi Kriemler<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Sektion Pädiatrische Kardiologie, Universitätsklinik für Kinder- und Jugendmedizin Ulm, Ulm, Deutschland

<sup>2</sup> Pädiatrische Kardiologie Graz, Graz, Österreich

<sup>3</sup> Interdisziplinäres Zentrum für Sport & Bewegungsmedizin, Universitätsklinik für Kardiologie, Inselspital, Universitätsspital Bern, Bern, Schweiz

<sup>4</sup> Institut für Epidemiologie, Biostatistik und Prävention, Gruppe Children, Physical Activity and Health (CHIPAH), Universität Zürich, Zürich, Schweiz

<sup>5</sup> Praxis am Herz-Jesu-Krankenhaus, Fulda, Deutschland

# Das 12-Kanal-Ruhe-EKG in der sportmedizinischen Untersuchung von Kindern und Jugendlichen

## Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft Herzkreislauferkrankungen der Gesellschaft für Pädiatrische Sportmedizin

**Die Gesellschaft für Pädiatrische Sportmedizin (GPS) will einen aktiven Lebensstil von Kindern und Jugendlichen fördern und unterstützt den länderübergreifenden Austausch von Experten mit dem Ziel, die physische und psychische Integrität von sporttreibenden Kindern und Jugendlichen durch gemeinsame Positionen zu fördern. Es besteht weltweit in den sportmedizinischen Gesellschaften sowie auch in Deutschland, Österreich und der Schweiz ein grundlegender Konsens über die notwendige Durchführung einer sportmedizinischen Untersuchung vor Aufnahme eines regelmäßigen Trainings oder Wettkampfsports. Eines der wichtigsten ärztlichen Ziele ist, das Auftreten akuter lebensgefährdender Ereignisse durch sportliche Aktivität zu vermeiden.**

### Hintergrund

Eine Vielzahl von Herzerkrankungen, die auf primär strukturellen und/oder elektrischen Funktionsstörungen beruhen, kann einen plötzlichen Herztod („sudden cardiac death“, SCD) beim Sport bereits im Kindes- und Jugendalter verursachen. Die jährliche Inzidenz beträgt ca. 0,6–4/100.000 Kinder und Jugendliche [1–5].

Zu diesen Erkrankungen gehören u. a. Myokarditiden, Kardiomyopathien (hypertrophe, dilatative, restriktive und arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie), kardiale Ionenkanalerkrankungen (Long-QT-Syndrom, Brugada-Syndrom, Short-QT-Syndrom, catecholaminerge ventrikuläre Tachykardie) und Präexzitationssyndrome wie z. B. das Wolff-Parkinson-White-Syndrom. Manche dieser Erkrankungen treten in bestimmten Regionen u. a. aufgrund ethnischer Voraussetzungen gehäuft als Ursache für einen SCD auf (z. B. hypertrophe Kardiomyopathie in den USA, arrhythmogene rechtsventri-

kuläre Dysplasie in Italien). Auch scheint eine gewisse Altersabhängigkeit der Todesursachen vorzuliegen, wie z. B. im Rahmen der koronaren Herzkrankheit [6–8]. Diese Heterogenität der Pathogenese des SCD beim Sport erschwert Screening und Prävention.

Mithilfe eines 12-Kanal-Ruhe-EKG können Hinweise auf potenziell lebensbedrohliche kardiale Erkrankungen bislang symptomfreier Sportler diagnostiziert werden. Dennoch wird der Stellenwert des 12-Kanal-Ruhe-EKG und der angewendeten Beurteilungskriterien zur Detektion dieser Risikokonstellationen international derzeit intensiv diskutiert [9–22]. Kriterien zur Beurteilung eines EKG bei Sportlern haben in den letzten Jahren dazu beigetragen, physiologische Adaptationen von pathologischen nichttrainingsrelevanten Veränderungen abzugrenzen [23–25]. Es existieren allerdings bislang keine EKG-Kriterien, die speziell für Kinder und Jugendliche erarbeitet wurden. Eine ungenügende Sensitivität der verwendeten Beurteilungskriterien führt zu einer „falschen

**Tab. 1** Untersuchungsinhalte der sportmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen medizinischer Fachgesellschaften

Verband		Eigen- und Familienanamnese	Körperliche Untersuchung	EKG
Name	Abkürzung			
American Heart Association	AHA	+	+	-
American College of Sports Medicine	ACSM	+	-	-
Association for European Paediatric and Congenital Cardiology	AEPC	+	+	+
European Federation of Sports Medicine Associations	EFSMA	+	+	+
European Society of Cardiology	ESC	+	+	+
Fédération Internationale de Médecine du Sport	FIMS	+	+	+

**Tab. 2** Untersuchungsinhalte der sportmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen internationaler Sportverbände. (Nach [18])

Sportverband		Eigen- und Familienanamnese	Körperliche Untersuchung	EKG
Name	Abkürzung			
Fédération Internationale de l'Automobile	FIA	+	+	+
Fédération Internationale de Football Association	FIFA	+	+	+
Fédération Internationale de Motocyclisme	FIM	+	+	+
Fédération Internationale de Natation	FINA	+	+	+
Fédération Internationale de Ski	FIS	+	+	+
Fédération Internationale des Sociétés d'Aviron	FISA	+	+	+
International Association of Athletic Federations	IAAF	+	+	+
Internationale Handballföderation	IHF	+	+	+
International Olympic Committee	IOC	+	+	+
International Paralympic Committee	IPC	+	+	+
International Triathlon Union	ITU	+	+	+
Major League Baseball (USA)	MLB	+	+	-
National Basketball Association (USA)	NBA	+	+	+
National Football League (USA)	NFL	+	+	-
National Hockey League (USA)	NHL	+	+	-
Union Cycliste International	UCI	+	+	+
Union of European Football Associations	UEFA	+	+	+
World Boxing Federation	WBF	+	+	+

Sicherheit“ bei Eltern, Sportlern, und Ärzten; ungenügende Spezifität resultiert in einer Verunsicherung der Betroffenen bis zum unberechtigten Sportverbot.

### Gegenwärtiges Vorgehen

Die sportmedizinische Basisuntersuchung beinhaltet eine standardisierte Anamnese, eine internistisch-orthopädisch körperliche Untersuchung und fakultativ ein Ruhe-EKG. Entsprechende Untersuchungsbogen können z. B. über die Homepage der Gesellschaft für Pädiatrische Sportmedizin bezogen werden ([www.kindersportmedizin.org](http://www.kindersportmedizin.org)). In den meisten europäischen Ländern (u. a. Österreich, Schweiz und Deutschland) und europäischen sportmedizinischen Organisationen (Tab. 1) sowie von

großen nationalen und internationalen Sportverbänden wie z. B. der Fédération Internationale de Football Association (FIFA) und vonseiten des International Olympic Committee (IOC) wird ergänzend das 12-Kanal-Ruhe-EKG als Screening empfohlen (Tab. 2).

Die American Heart Association (AHA) veröffentlichte 2014 Empfehlungen, die ein abgestuftes Vorgehen mit einer 14 Items umfassenden Befragung beinhaltet und nur bei Auffälligkeiten nachgeschaltet weitergehende Untersuchungen vorsah, u. a. ein ergänzendes Ruhe-EKG [12]. Die Symptome der Athleten mit Auffälligkeiten vor einem SCD sind jedoch häufig unspezifisch [26], und in bis zu 80 % der Fälle ist der SCD das erste Symptom der Herz-Kreislauf-Erkrankung [6].

Eine Metaanalyse der AHA-Richtlinie ergab für die Anamnese eine Sensitivität von 20 % und eine Spezifität von 94 %, für die körperliche Untersuchung eine Sensitivität von 9 % und eine Spezifität von 97 % sowie für das Ruhe-EKG eine Sensitivität von 94 % und eine Spezifität von 93 %. Die Rate falsch-positiver Untersuchungsergebnisse betrug für die Anamnese 8 %, für die körperliche Untersuchung 10 % und für das Ruhe-EKG 6 % [27]. Ein aktueller prospektiver Vergleich der AHA-Richtlinie mit dem Ruhe-EKG dokumentierte abermals anhand von Sensitivität (18,8 % vs. 87,5 %), Spezifität (68,0 % vs. 97,5 %) und dem positiven Vorhersagewert (0,3 % vs. 13,6 %) eine Verbesserung der Sportlersicherheit durch ein ergänzendes Ruhe-EKG [21].

Die Sensitivität, kardiovaskuläre sporttauglichkeitsrelevante Erkrankungen im Rahmen einer sportmedizinischen Untersuchung zu diagnostizieren, steigt somit bei ergänzender Ableitung eines Ruhe-EKG und steht auch in einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis [28, 29].

Dies zeigt die Limitierung einer auf Anamnese und körperlicher Untersuchung basierenden sportmedizinischen Untersuchung auf und unterstützt die Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC) und Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), die die Ableitung eines Ruhe-EKG im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung bei Athleten, die Wettkämpfe bestreiten, beginnend ab einem Alter von 12 bis 14 Jahren empfehlen [18, 19].

Aufgrund der relativ hohen Rate falsch-positiver EKG-Untersuchungen ist die Spezifität der angewendeten Kriterien in der Beurteilung des EKG jugendlicher Sportler von besonderer Bedeutung. Je nach Untersucher kommen EKG-Auffälligkeiten in 8–36 % der Sportler vor [30–34]. Die Verwendung der Seattle-Kriterien kann diese Rate bei geübten Untersuchern auf 2,8 % senken, bei erhaltener Sensitivität [35]. Aktuelle Konsensus stellen die überarbeiteten Seattle-Kriterien, die „International Criteria“, dar [36]. Hier werden EKG-Befunde in 3 Kategorien eingeteilt (normal für Athleten, grenzwertig und abnorm). Zu den normalen Befunden gehört z. B. die juvenile T-Negativierung in  $V_1$ – $V_3$ , die bei Jugendlichen im Alter von <16 Jahren keine Abklärung benötigt. Weiterführende Abklärungen werden nur bei 2 oder mehr grenzwertigen oder ein oder mehr abnormen Untersuchungsergebnissen empfohlen (Abb. 1; [36]). Für das homogene Kollektiv überwiegend kaukasischer Schweizer Spitzensportler konnte gegenüber den Seattle-Kriterien mithilfe der internationalen Kriterien die Rate abnormer EKG-Befunde von 2,8 % auf 1,4 % gesenkt werden [37]. Basierend auf diesen ersten Resultaten wurde das nationale Register Swiss Pediatric Athletes ECG Database (Swiss PAED) zum longitudinalen Follow-up der Sportler etabliert [38].

Monatsschr Kinderheilkd 2019 · 167:1157–1161 <https://doi.org/10.1007/s00112-019-00796-9>  
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

J. Siaplaouras · C. Apitz · P. Fritsch · M. Wilhelm · S. Kriemler

## Das 12-Kanal-Ruhe-EKG in der sportmedizinischen Untersuchung von Kindern und Jugendlichen. Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft Herzkreislauferkrankungen der Gesellschaft für Pädiatrische Sportmedizin

### Zusammenfassung

Die Gesellschaft für pädiatrische Sportmedizin (GPS) will einen aktiven Lebensstil von Kindern und Jugendlichen fördern und unterstützt den grenzüberschreitenden Austausch von Experten mit dem Ziel, die körperliche Aktivität von Kindern, Jugendlichen und jungen Sportlern durch gemeinsame Positionen zu fördern. Bis heute ist die Vorbeugung des plötzlichen Herztods („sudden cardiac death“, SCD) im Sport eine medizinische Herausforderung. Durch die Ableitung eines Ruhe-EKG können verschiedene SCD-bedingte elektrische oder strukturelle Herzerkrankungen vermutet oder diagnostiziert werden. Die Bedeutung des 12-Kanal-Ruhe-EKG zur Erkennung dieser Risikokonstellationen wird jedoch intensiv diskutiert.

Das GPS empfiehlt die Ableitung eines 12-Kanal-Ruhe-EKG als Standard für die sportmedizinische Untersuchung von wett-

kämpfenden Kindern und Jugendlichen ab einem Alter von 12 bis 14 Jahren, mindestens alle 2 Jahre. Eine sportartspezifische frühere Teilnahme an Wettbewerben ist individuell zu prüfen. Aktuelle Empfehlungen zur Beurteilung des Ruhe-EKG bei Sportlern, die trainingsbedingte Herzanpassungen in Betracht ziehen, führen zu einer bestmöglichen Sensitivität und Spezifität. Um jedoch nachteilige Folgen von falsch-negativen oder falsch-positiven Befunden zu vermeiden, muss die Beurteilung von Ärzten und Kinderärzten durchgeführt werden, die über Fachkenntnisse in pädiatrischer Sportmedizin und der aktueller Kriterien verfügen.

### Schlüsselwörter

EKG · Plötzlicher Herztod · Sportmedizinische Untersuchung · Sportherz · Internationale Empfehlungen

## The 12-lead resting ECG in sport medical examinations of children and adolescents. Statement of the working group on cardiovascular diseases of the Society of Pediatric Sports Medicine

### Abstract

The Society for Pediatric Sports Medicine (GPS) aims to promote an active lifestyle for children and adolescents and supports transnational exchange of experts with the aim of promoting physical activity in children, adolescents and young athletes through common positions.

To date, the prevention of sudden cardiac death (SCD) in sports still poses a medical challenge. By establishment of a resting electrocardiogram (ECG), various SCD-related electrical or structural heart conditions can be suspected or diagnosed. Nevertheless, the importance of the 12-lead resting ECG used to detect these risk constellations is under intensive discussion.

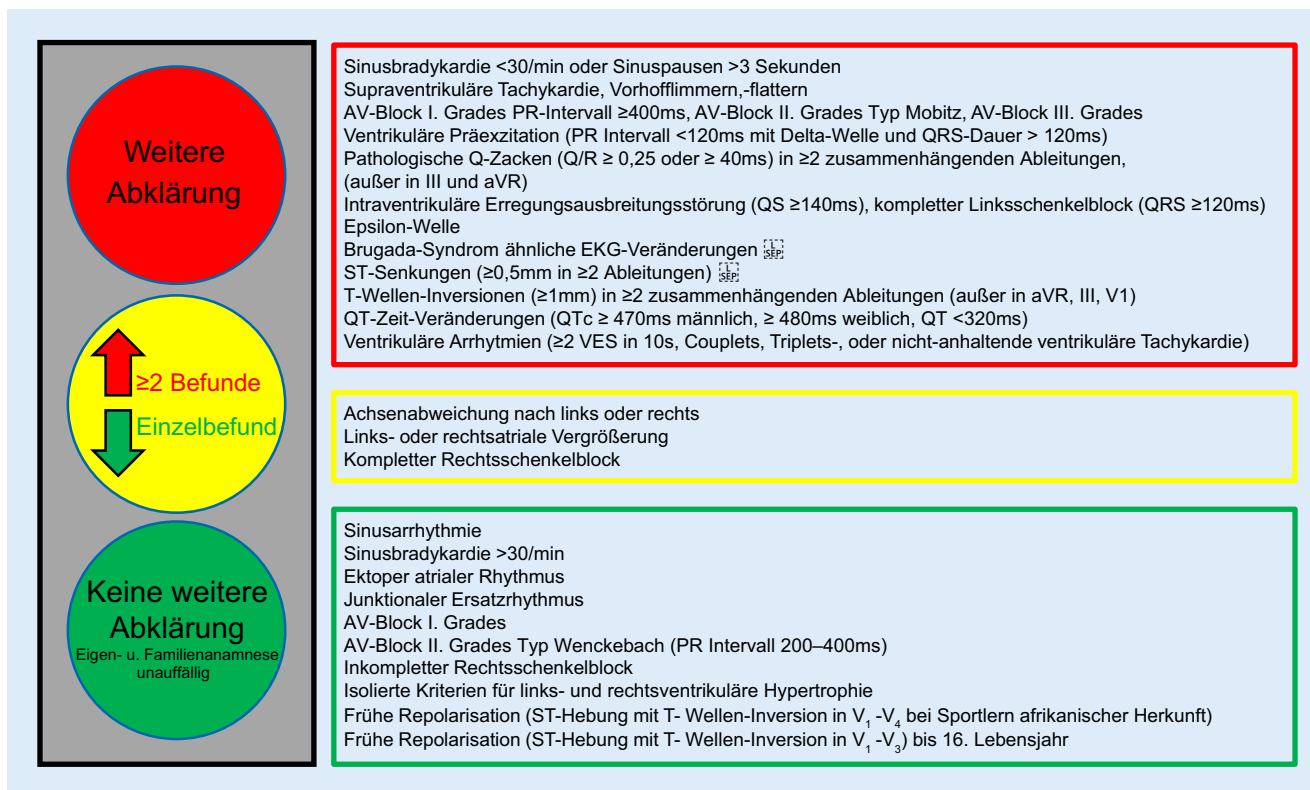
The GPS recommends the derivation of a preparticipation 12-lead resting ECG as a standard in sports medical examinations of children and adolescents who compete

in sports, at least every 2 years beginning from the age of 12–14 years. A sport-specific earlier participation in competitions must be individually controlled.

Current recommendations for the assessment of the resting ECG in athletes, which take the training-related cardiac adaptations into consideration, lead to the best possible sensitivity and specificity; however, to avoid disadvantageous consequences from false negative or false positive findings, the assessment must be done by physicians and pediatricians with expertise in pediatric sports medicine and the currently used criteria.

### Keywords

ECG · Sudden cardiac death · Sports medical examination · Athlete's heart · International recommendations



Sinusbradykardie <30/min oder Sinuspausen >3 Sekunden  
 Supraventrikuläre Tachykardie, Vorhofflimmern, -flattern  
 AV-Block I. Grades PR-Intervall  $\geq 400$ ms, AV-Block II. Grades Typ Mobitz, AV-Block III. Grades  
 Ventrikuläre Präexzitation (PR Intervall <120ms mit Delta-Welle und QRS-Dauer > 120ms)  
 Pathologische Q-Zacken (Q/R  $\geq 0,25$  oder  $\geq 40$ ms) in  $\geq 2$  zusammenhängenden Ableitungen, (außer in III und aVR)  
 Intraventrikuläre Erregungsausbreitungsstörung (QS  $\geq 140$ ms), kompletter Linksschenkelblock (QRS  $\geq 120$ ms)  
 Epsilon-Welle  
 Brugada-Syndrom ähnliche EKG-Veränderungen  
 ST-Senkungen ( $\geq 0,5$ mm in  $\geq 2$  Ableitungen)  
 T-Wellen-Inversionen ( $\geq 1$ mm) in  $\geq 2$  zusammenhängenden Ableitungen (außer in aVR, III, V1)  
 QT-Zeit-Veränderungen (QTc  $\geq 470$ ms männlich,  $\geq 480$ ms weiblich, QT <320ms)  
 Ventrikuläre Arrhythmien ( $\geq 2$  VES in 10s, Couplets, Triplets-, oder nicht-anhaltende ventrikuläre Tachykardie)

Achsenabweichung nach links oder rechts  
 Links- oder rechtsatriale Vergrößerung  
 Kompletter Rechtsschenkelblock

Sinusarrhythmie  
 Sinusbradykardie >30/min  
 Ektoper atrialer Rhythmus  
 Junktionaler Ersatzrhythmus  
 AV-Block I. Grades  
 AV-Block II. Grades Typ Wenckebach (PR Intervall 200–400ms)  
 Inkompletter Rechtsschenkelblock  
 Isolierte Kriterien für links- und rechtsventrikuläre Hypertrophie  
 Frühe Repolarisation (ST-Hebung mit T-Wellen-Inversion in  $V_1$ - $V_4$  bei Sportlern afrikanischer Herkunft)  
 Frühe Repolarisation (ST-Hebung mit T-Wellen-Inversion in  $V_1$ - $V_3$ ) bis 16. Lebensjahr

Abb. 1 ▲ EKG-Ampel. (Kriterien und Bewertung nach Sharma et al. 2018 [36])

## Stellungnahme

Im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung ist das 12-Kanal-Ruhe-EKG ergänzend zu Anamnese und körperlicher Untersuchung eine etablierte, kostengünstige und nichtinvasive Screeningmethode. Das 12-Kanal-Ruhe-EKG kann potenziell lebensgefährliche Herzkrankungen erfassen, auch wenn aktuell keine ausreichende Evidenz vorliegt, dass damit plötzliche kardiovaskuläre Todesfälle im Sport zu verhindern sind. Nicht zuletzt aus ethischen Gründen ist es unwahrscheinlich, dass eine Good-clinical-practice(GCP)-Studie hierzu durchgeführt werden kann.

Aktuelle Empfehlungen zur Beurteilung des Ruhe-EKG bei Sportlern, die die trainingsbedingten kardialen Anpassungen berücksichtigen, führen zu einer bestmöglichen Sensitivität und Spezifität. Unabhängig davon sind die unterschiedlichen Krankheitsprävalenzen und Pathogenesen der verschiedenen Altersgruppen und Ethnien zu beachten. Die Gesellschaft für Pädiatrische Sportmedizin (GPS) empfiehlt im Konsens

mit anderen medizinischen Fachgesellschaften und Sportverbänden die Ableitung eines 12-Kanal-Ruhe-EKG. Dies sollte bei Jugendlichen im Alter ab 12 bis 14 Jahren zumindest 2-jährlich standardmäßig im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung von Kindern und Jugendlichen, die wettkampfmäßig Sport betreiben, durchgeführt werden. Der ggf. sportartspezifisch frühere Einstieg in Wettkämpfe ist individuell zu berücksichtigen. Zur Vermeidung negativer Folgen durch falsch-negative oder falsch-positive EKG-Befunde muss die Beurteilung jedoch durch Ärzte und Kinderärzte mit Expertise in pädiatrischer Sportmedizin und gemäß aktuellen Kriterien erfolgen.

Die fortwährende Validierung der bestehenden EKG-Kriterien sowie deren Anpassung speziell an sporttreibende Kinder und Jugendliche ist wünschenswert und wird durch die GPS unterstützt.

## Korrespondenzadresse

**Dr. Jannos Siaplaouras**  
 Praxis am Herz-Jesu-Krankenhaus  
 36039 Fulda, Deutschland  
 praxis@kinderkardiologie-fulda.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** J. Siaplaouras, C. Apitz, P. Fritsch, M. Wilhelm und S. Kriemler geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

## Literatur

1. Maron BJ (2003) Sudden death in young athletes. *N Engl J Med* 349:1064–1075
2. Maron BJ et al (2009) Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006. *Circulation* 119(8):1085–1092
3. Van Camp SP, Bloor CM, Mueller FO et al (1995) Non-traumatic sports death in high school and college athletes. *Med Sci Sports Exerc* 27:641–647
4. Corrado D et al (2003) Does sports activity enhance the risk of sudden death in adolescents and young adults? *J Am Coll Cardiol* 42:1959–1963

5. Corrado D et al (2008) Pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden cardiac death. *J Am Coll Cardiol* 52(24):1981–1989
6. Maron B, Shirani J, Poliac L et al (1996) Sudden death in young competitive athletes: clinical, demographic and pathologic profiles. *JAMA* 276:199–204
7. Corrado D, Thiene G, Nava A, Rossi L, Pennelli N (1990) Sudden death in young competitive athletes: clinical correlations in 22 cases. *Am J Med* 89:588–596
8. Bohm P, Scharhag J, Meyer T (2016) Data from a nationwide registry on sports-related sudden cardiac deaths in Germany. *Eur J Prev Cardiol* 23(6):649–656
9. Löllgen H, Leyk D, Hansel J (2010) Sportärztliche Vorsorgeuntersuchung im Breiten- und Freizeitsport. *Dtsch Arztebl* 107:742–749
10. Thompson PD (2009) Preparticipation screening of competitive athletes. *Circulation* 119:1072–1074
11. Maron BJ, Thompson PD, Ackerman MJ, Balady G, Berger S, Cohen D, Dimeff R, Douglas PS, Glover DW, Hutter AM Jr, Krauss MD, Maron MS, Mitten MJ, Robert MO, Puffer JC (2007) Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association council on nutrition, physical activity, and metabolism: endorsed by the American College of Cardiology Foundation. *Circulation* 115:1643–1655
12. Maron BJ, Friedman RA, Kligfield P, Levine BD, Viskin S, Chaitman BR, Okin PM, Saul JP, Salberg L, Van Hare GF, Soliman EZ, Chen J, Matherne GP, Bolling SF, Mitten MJ, Caplan A, Balady GJ, Thompson PD (2014) Assessment of the 12-lead ECG 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. *Circulation* 130:1303–1334
13. Löllgen H, Börjesson M, Cumminskey J, Bachl N, Debruyne A (2015) The pre-participation examination in sports: EFSMA statement on ECG for pre-participation examination. *Dtsch Z Sportmed* 66:151–155
14. Fritsch P, Fritz M, Förster H, Gitter R, Kitzmüller E, Köstenberger M, Nehrer S, Schober P (2015) Sport- und Wettkampftauglichkeitsuntersuchungen im Kindes- und Jugendalter. *Monatsschr Kinderheilkd* 163:1030–1036. <https://doi.org/10.1007/s00112-015-3355-2>
15. Chatard JC, Mujika I, Goiriena JJ, Carré F (2016) Screening young athletes for prevention of sudden cardiac deaths: practical recommendations for sports physicians. *Scand J Med Sci Sports* 26:362–374. <https://doi.org/10.1111/sms.12502>
16. Marti B, Villiger B, Hintermann M, Lerch R (1998) Plötzlicher Herztod beim Sport: Sinnvolle Vorsorgeuntersuchungen und Präventionsmassnahmen. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumatol* 46:83–85
17. Chaitman BR (2007) An electrocardiogram should not be included in routine preparticipation screening of young athletes. *Circulation* 116:2610–2615
18. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Terradellas JB, Carré F, Guasch E, Heidbuchel H, La Gerche A, Lampert R, McKenna W, Papadakis M, Priori SG, Scanavacca M, Thompson P, Sticherling C, Viskin S, Wilson M, Corrado D (2017) Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *Eur J Prev Cardiol* 24(1):41–69. <https://doi.org/10.1177/2047487316676042>
19. Fritsch P, Pozza RD, Ehringer-Schetitska D, Jokinen E, Herceg V, Hidvegi E, Oberhoffer R, Petropoulos A (2018) Cardiovascular pre-participation screening in young athletes: recommendations of the Association of European Paediatric Cardiology—CORRIGENDUM. *Cardiol Young* 28(4):620. <https://doi.org/10.1017/S1047951117002700>
20. Lawrenz W, Wilhelm M (2017) Resting ECG as screening tool for sudden cardiac death: PRO and CON. *Swiss Sports Exerc Med* 65(3):8–11
21. Williams EA, Pelto HF, Toresdahl BG, Prutkin JM, Owens DS, Salerno JC, Harmon KG, Drezner JA (2019) Performance of the American Heart Association (AHA) 14-point evaluation versus electrocardiography for the cardiovascular screening of high school athletes: a prospective study. *J Am Heart Assoc* 8(14):e12235. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012235>
22. Maron BJ, Thompson PD, Maron MS (2019) There is no reason to Adopt ECG s and abandon American Heart Association/American College of Cardiology history and physical screening for detection of cardiovascular disease in the young. *J Am Heart Assoc* 8(14):e13007. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013007>
23. Corrado D, Pelliccia A, Heidbuchel H, Sharma S, Link M, Basso C, Biffi A, Buja G, Delise P, Gussac I, Anastasakis A, Borjesson M, Bjørnstad HH, Carré F, Deligiannis A, Dugmore D, Fagard R, Hoogsteen J, Mellwig KP, Panhuysen-Goedkoop N, Solberg E, Vanhees L, Drezner J, Estes NAM, Iliceto S, Maron BJ, Peidro R, Schwartz PJ, Stein R, Thiene G, Zeppilli A, McKenna WJ (2010) Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. *Eur Heart J* 31(2):243–259. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp473>
24. 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 (2013) Electrocardiographic interpretation in athletes: the 'Seattle criteria'. *Br J Sports Med* 47:122–124. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092067>
25. Drezner JA, Sharma S, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, Prutkin JM, Gerche A, Ackerman MJ, Borjesson M, Salerno JC, Asif IM, Owens DS, Chung EH, Emery MS, Froelicher VF, Heidbuchek H, Adamuz C, Asplund CA, Cohen G, Harmon KG, Marek JC, Molossi S, Niebauer J, Pelto HF, Perez MV, Riding NR, Saarel T, Schmied CM, Shipon DM, Stein R, Vetter VL, Pelliccia A, Corrado D (2017) International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Br J Sports Med* 51:704–731. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-09733>
26. Fudge J, Harmon KG, Owens DS et al (2014) 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* 48:1172–1178
27. Harmon KG, Zigman M, Drezner JA (2015) The effectiveness of screening history, physical exam, and ECG to detect potentially lethal cardiac disorders in athletes: a systematic review/meta-analysis. *J Electrocardiol* 48:329–338. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2015.02.001>
28. Asif IM et al (2013) Sudden cardiac death in young athletes: what is the role of screening? *Curr Opin Cardiol* 28:55–56
29. Menafoglio A, Di Valentino M, Segatto JM, Siragusa P, Pezzoli R, Maggi M, Romano GA, Moschovitis G, Wilhelm M, Gallino A (2014) Costs and yield of a 15-month preparticipation cardiovascular examination with ECG in 1070 young athletes in Switzerland: Implications for routine ECG screening. *Br J Sports Med* 48:1157–1161
30. Corrado D, Basso C, Pavei A, Michieli P, Schiavon M, Thiene G (2006) Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program. *JAMA* 296:131593–131601
31. Nistri S, Thiene G, Basso C et al (2003) Screening for hypertrophic cardiomyopathy in a young male military population. *Am J Cardiol* 91:1021–1023
32. Hill AC, Miyake CY, Grady S, Dubin AM (2011) Accuracy of interpretation of preparticipation screening electrocardiograms. *J Pediatr* 159:783–788
33. Chandra N, Bastiaenen R, Papadakis M et al (2014) The prevalence of ECG anomalies in young individuals; relevance to a nationwide cardiac screening program. *J Am Coll Cardiol* 63:2028–2034. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.046>
34. Koch S, Cassel M, Linné K, Mayer F, Scharhag J (2014) ECG and echocardiographic findings in 10–15-year-old elite athletes. *Eur J Prev Cardiol* 21(6):774–781. <https://doi.org/10.1177/2047487312462147>
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, Pgozzi F et al (2014) Advancing the preparticipation physical evaluation: An ACSM and FIMS joint consensus statement. *Clin J Sport Med* 24:442–447
36. Sharma S, Deznar JA, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, Prutkin JM, La Gerche A, Ackerman MJ, Borjesson M, Salerno JC, Asif IM, Owens DS, Chung EH, Emery MS, Froelicher VF, Heidbuchel H, Adamuz C, Asplund CA, Cohen G, Harmon KG, Marek JC, Molossi S, Niebauer J, Pelto HF, Perez MV, Riding NR, Saarel T, Schmied CM, Shipon DM, Stein R, Vetter VL, Pelliccia A, Corrado D (2018) International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Eur Heart J* 39:1466–1480
37. Perrin T, Trachsel LD, Schneider S, Menafoglio A, Albrecht S, Pirrello T, Eser P, Roten L, Gojanovic B, Wilhelm M (2017) Prevalence of abnormal electrocardiograms in Swiss elite athletes detected with modern screening criteria. *Swiss Med Wkly* 146:w14376
38. Albiński M, Saubade M, Menafoglio A, Meyer P, Capelli B, Wilhelm M, Schmied C, Gabus V (2019) ECG screening in paediatric athletes: a multi-centre retrospective study in 891 Swiss athletes. *Cardiovasc Med* 22:w2041. <https://doi.org/10.4414/cvm.2019.02041>