

## Veränderung der T-Wellenflächen im Vektor-EKG unter Belastung

### Alteration of the T-wave areas in vectorkardiography during exertion

Pökel C, Matthaei A, Fikenzer S, Falz R & Busse M

Institut für Sportmedizin/Sportmedizinische Ambulanz der Universität Leipzig (Direktor: Prof. Dr. med. M. Busse)

---

#### Zusammenfassung

**Pökel C, Matthaei A, Fikenzer S, Falz R, & Busse M.**  
**Veränderung der T-Wellenflächen im Vektor-EKG unter Belastung. Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2014, 15 (1), 8-12**

**Einleitung:** Die zur Leistungsdiagnose verwendeten Verfahren wie Laktatschwellenbestimmung und Spiroergometrie weisen trotz ihrer hohen Aussagekraft auch Nachteile auf. Mit der Betrachtung der Veränderung der T-Welle unter Belastung ergibt sich eine Methode, die mit dem EKG, ein routinemäßig durchgeführtes, kostengünstiges, Compliance unabhängiges und nichtinvasives Verfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit darstellt. Dazu wird die Methode näher vorgestellt und mit bereits existierenden Verfahren der Leistungsdiagnostik verglichen.

**Material und Methode:** Zum Vergleich der Methoden wurde mit 32 Probanden ein Doppelstufentest durchgeführt. Dabei wurden Parameter, die zur Feststellung der Leistungsfähigkeit dienen, erhoben. Dazu

wurde die Laktatsenke [1], sowie VT und RCP [19, 21, 22] bestimmt und mit der Methode der niedrigsten T-Wellenfläche (T-Senke) im Vektor-EKG [5, 7] verglichen. Um die Reliabilität der T-Senke zu testen, wurde mit 13, randomisiert ausgewählten Probanden erneut ein Einstufentest durchgeführt.

**Ergebnisse:** Die T-Senke wird durchschnittlich bei einem Wert von 63,6% der Maximalleistung erreicht. Die Methode der T-Senke hat gegenüber den bisher verwendeten Methoden eine zu große Streubreite. Die Reliabilität der T-Senke lässt sich als gut bewerten.

**Fazit:** Die Methode muss verbessert werden um geringe Streubreiten zu erzeugen. Ein Leistungsdiagnostischer Nutzen kann aus dieser Version der Methode nicht gezogen werden.

**Schlüsselwörter:** Leistungsdiagnostik, Vektor-EKG, Erregungsrückbildung, T-Senke

#### Abstract

**Pökel C, Matthaei A, Fikenzer S, Falz R & Busse M.**  
**Alteration of the T-wave areas in vectorkardiography during exertion. Klinische Sportmedizin /Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2014, 15 (1), 8-12**

**Purpose:** Despite their significance, the methods used for performance diagnosis, such as lactate threshold determination and spiroergometry, also have disadvantages. Considering the alteration of the T-wave on exertion there is one method for the determination of the performance using an ECG that represents a routine process, which is less cost-intensive, compliance-independent and non-invasive. This method will be presented in detail and compared with already existing processes of performance diagnostics.

**Material and method:** In order to compare these methods, a two-step test with 32 participants was administered. In this process, parameters were established for the determination of the performance. For this purpose, the

lactate turnpoint [1], VT and RCP [19, 21, 22] were defined and compared to the method with the lowest T-wave area (T-turnpoint) in the VCG [5, 7]. 13 randomly chosen participants were used to test the reliability of the T-turnpoint by administering an additional one-step test.

**Results:** On the average, the T-turnpoint was achieved at 63.6 % of the maximum performance. In comparison to already established methods, the procedure of the T-turnpoint has an extensive scatter range, however, the reliability of the T-turnpoint can be evaluated as good.

**Conclusion:** The method needs to be improved to generate lower scatter ranges. This version of the method does not lead to any advantage for performance diagnostics.

**Key words:** Performance diagnostics, VCG, repolarization, T-turnpoint

## Einleitung

Die medizinische Trainingsauffassung fokussiert sich auf die Beeinflussung von Struktur und Funktion von Organsystemen durch gezielte Intervention. Ziel des Trainings ist die Erhaltung oder die Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch regelmäßige, körperliche Bewegung [17]. Die Leistungsfähigkeit des Menschen ist neben genetischen Voraussetzungen vor allem von der Anpassung verschiedener Strukturen und deren Funktionen abhängig. Das kardiopulmonale System spielt dabei eine zentrale Rolle. Zur Planung eines zielorientierten Trainings ist die Kenntnis des aktuellen Leistungsvermögens und damit die Ökonomie des kardiopulmonalen Systems unerlässlich. Auf möglichst genaue und praktikable Diagnosemöglichkeiten zu Erfassung des Leistungsstandes kann nicht verzichtet werden. Die Leistungsdiagnostik bildet für die Trainingsplanung und -steuerung eine wesentliche Rolle [14]. Die Leistungsdiagnostik ist aber nicht nur als Methode zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit im Spitzensport zu sehen, sondern findet auch in der Therapie von Herzkrankheiten ihre Bedeutung. Sport als Medikament ist Bestandteil von Therapiekonzepten in der kardiologischen Rehabilitation und Prävention [11].

Als Standard zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit wird auf Methoden zur Bestimmung der Laktatkonzentration, spiroergometrische Größen und kardiale Parameter zurückgegriffen [2, 12]. Die Bestimmung der Laktatschwelle, als Maß der Ausdauerleistungsfähigkeit, ist ein leicht bestimmbares und bei Berücksichtigung der beeinflussenden Faktoren, routinemäßig durchführbares Verfahren, das in seiner Aussagekraft kaum übertroffen werden kann [8, 18]. Jedoch gibt es kein allgemeingültiges Schwellenmodell und die Bestimmung ist immer mit einem invasiven Eingriff verbunden [0].

Durch die Analyse der bei der Spiroergometrie erhobenen Parameter lassen sich bei ansteigender Belastung Rückschlüsse auf die körperliche Belastung ziehen. Des Weiteren lassen sich differenziertere Aussagen bezüglich der kardialen und respiratorischen Reaktion des Körpers auf Belastung treffen [21]. Die Spiroergometrie hat einen

bedeutenden Stellenwert in der prognostischen und funktionellen Beurteilung von Krankheiten. Durch eine differenzierte Analyse sind Rückschlüsse auf pulmonales, kardiovaskuläres sowie neuromuskuläres System möglich [20]. Obwohl die Spiroergometrie kein invasives Messverfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit darstellt, ist die Akzeptanz bei den zu untersuchenden Patienten oder Sportlern nicht immer gegeben. Die Bereitschaft bei einer sportlichen Belastung eine Maske zu tragen, hat dabei Einfluss auf das Erreichen der maximalen Belastung.

Das Elektrokardiogramm ist einerseits ein nichtinvasives diagnostisches Mittel, andererseits hängt es nicht vom Engagement der Probanden ab. Des Weiteren hat es einen hohen diagnostischen Stellenwert bei der Feststellung von Rhythmusstörungen oder myokardialen Ischämien [7]. Bereits in der Vergangenheit wurde das EKG als diagnostisches Instrument verwendet, um belastungsinduzierte Veränderungen darzustellen und zu erklären. Dabei fällt der ST-Streckenbetrachtung eine wichtige Rolle zu. Die ST-Streckenhebung oder -Senkung ist dabei meist Anzeichen einer Ischämie [10]. Des Weiteren wird eine Veränderung des Integrals unter der T-Welle bei Belastung beschrieben. Das Integral unter der T-Welle vergrößert sich bis eine Leistung von 60% der Maximalleistung erreicht wird. Nachfolgend kann eine Vergrößerung des Integrals bis zum Erreichen der Maximalleistung festgestellt werden [4].

Basierend auf der Überlegung der Veränderungen im EKG und der Nachteile der bisher verwendeten Methoden, soll untersucht werden, ob sich die EKG Veränderungen zur Leistungsdiagnose nutzen lassen. Ein derartiges Verfahren hätte den Vorteil einer, mit dem EKG, routinemäßig durchgeführten, kostengünstigen und nichtinvasiven Bestimmung der Leistungsfähigkeit, das nicht von der Compliance des Probanden abhängig ist. Dazu wurde die Methode der niedrigsten T-Wellenfläche (T-Senke) im Vektor-EKG mit bestehenden Methoden wie Laktatsenke und respiratorischen Schwellen wie VT und RCP verglichen [1, 5, 7, 19, 21, 22].

## Methodik

### Studienkollektiv:

Die Untersuchungsgruppe besteht aus 32 jungen Männern. Nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung über Ablauf, Risiken und angemessener Bedenkzeit gaben alle Probanden ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Untersuchungsreihe. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren alle Probanden frei von entzündlichen Erkrankungen. Eine medizinische Kontraindikation für einen Belastungstest bestand bei keinem der Probanden. Dazu wurden die in der Praxis allgemein angewendeten Kriterien für Belastungsuntersuchungen als Grundlage festgelegt [6, 16]

Das Probandenfeld bestand anfangs aus 36 Probanden. Aufgrund sehr schlechter Signalqualität des EKGs mussten 3 Probanden aus der Untersuchung ausscheiden. Bei einem Probanden wurde bereits im Ruhe-EKG ein bisher nicht bekannter, inkompletter Rechtsschenkelblock

festgestellt, wodurch auch dieser Proband aus dem Untersuchungskollektiv ausscheiden musste.

Die Personen waren im Alter von 20 – 30 Jahre. Das Probandenkollektiv kann mit mehr als 4h/Woche Trainingsumfang als sportlich aktiv bezeichnet werden. Eine detaillierte Auskunft über das Untersuchungskollektiv und sind in Tabelle 1 zu finden.

**Tabelle 1 Grundcharakteristik der Studienprobanden**

Alter (Jahre)	23,9 ± 1,9
Größe (cm)	180,8 ± 6,6
Gewicht ((kg)	77,8 ± 8,4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )*	23,8 ± 2,1
RRsys (mmHg)	123 ± 15,1
RRdia (mmHg)	79,6 ± 10,1
Herzfrequenz (S/min)	71,9 ± 12,8

### Untersuchungsablauf:

Zur Vorbereitung auf die Untersuchung erhielten alle Probanden eine schriftliche Information über grundlegende Voraussetzungen für die Teilnahme. Wichtige Punkte waren dabei vor dem Test: 48h keine Diät, 72h Ausbelastungsstopp, 24h Belastungsstopp und 24h keine Genussmittel. Alle Teilnehmer nahmen vor Studieneintritt an einer Voruntersuchung teil (Anamnese, Erhebung von anthropometrischen Daten, Gewichtsmessung, Lungenfunktion, Ruhe Blutdruck und Ruhe EKG). Ein Drittel der Probanden randomisiert ausgewählt, einen zweiten Belastungstest durchzuführen. Zwischen dem ersten Doppelstufentest und dem folgenden Einstufentest lagen mindesten 1 Woche, maximal aber 3 Wochen.

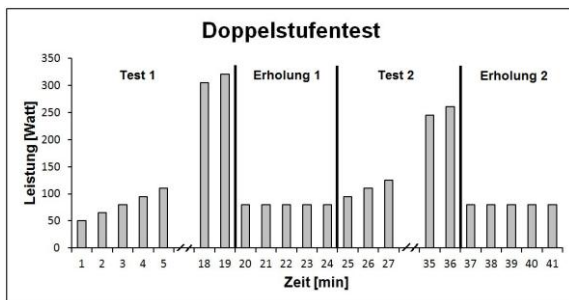


Abb. 1: Schema Doppelstufentest

Für den fahrradergometrischen Belastungstest wurde ein Halbliegeergometer (35°) verwendet und den jeweiligen Körperproportionen der Probanden angepasst. Die Anfangsbelastung des Tests wurde bei 50W festgelegt. Dabei sollte eine Trittfrequenz zwischen 60 bis 70 U/min gehalten werden. Mit jeder weiteren erreichten Minute wurde die zu tretende Leistung um 15W gesteigert, bis eine Ausbelastung, definiert durch dauerhaftes unterschreiten von 60 U/min, des Probanden erreicht wurde. Nach Erreichen der Ausbelastung wurde die zu tretende Leistung auf 25% der Maximalleistung eingestellt und es folgte eine fünfminütige Erholungsphase. Anschließend wurde ein erneuter Belastungsanstieg bis auf 80% der erreichten Maximalleistung durchgeführt, der wiederum von einer fünfminütigen Erholungsphase gefolgt war. Ein Schema des Doppelstufentests ist in Abbildung 1 dargestellt (Der Einstufentest endete nach der ersten Erholung).

## Ergebnisse

### Doppelstufentest

Je nach Trainingszustand und ausgeübter Sportart erreichten die Probanden unterschiedliche Maximalleistungen. Die erreichten Leistungen und die dazugehörigen Schwellen sind in Tabelle 2 dargestellt. Die im Doppelstufentest erreichten Maximalleistungen haben eine große Streubreite von minimal Erreichten 245Watt und maximal von 365Watt. Um die Werte im weiteren Verlauf vergleichbar gestalten zu können, werden die Werte jeweils in Prozentwerten in Dekaden angegeben. Die T-Senke wird bei durchschnittlich  $63,6 \pm 9,2\%$  erreicht. In Abbildung 3 ist die Veränderung der Herzfrequenz und der T-Wellenfläche relativ zur erreichten Maximalleistung dargestellt.

### Datenerhebung

Sowie im Doppel-, als auch im Einstufentest wurde in Ruhe und in jeder Belastungsminute ein EKG geschrieben. Mit Hilfe der Ruhe- und Belastungs-EKG-Einheit Typ MAC 5500 wurden die Erregungen über 10 Sekunden gemittelt und ausgedruckt. Die Schreibgeschwindigkeit betrug dabei 50mm/s mit einer Verstärkung von 10mm/mV. Die Intervalle von PQ-Zeit, QRS-Dauer, sowie QT-Dauer und J-Punkt wurden automatisch eingefügt. Die Auswertung erfolgte mit dem Bildbearbeitungsprogramm GIMP2. Die Spiroergometrie erfolgte mit einer K4b<sup>2</sup>-Einheit der Firma Cosmed® über den ersten Belastungsanstieg. Die Messung erfolgte kontinuierlich mit der 'breath-by-breath'-Methode. Um Schwankungen durch unterschiedliche Atemtiefe zu vermeiden, wurden die Werte über 10s gemittelt. Durch Anlegen von Geraden an den überproportional ansteigenden Punkten der Ventilationskurven, wurden VT und RCP bestimmt [19, 21]. Für die Laktatanalyse wurde Vollblut aus dem linken Ohrläppchen abgenommen. Bei allen Probanden wurden 20 µl mittels einer Kapillare des Ohrläppchens entnommen. Die erste Abnahme erfolgte vor dem Test, die zweite Abnahme in der ersten Erholungsminute. Ab der ersten Minute des zweiten Belastungstest erfolgte in jeder Minute eine neue Blutabnahme um die Laktatsenke zu bestimmen [1]. Die Bestimmung der Laktatkonzentration erfolgte automatisch mit dem Gerät 'Super GL' der Firma Diasys-Diagnostic®.

### Statistik

Sämtliche statistische Auswertungen erfolgten mit den Programmen GraphPad Prism 4.0 (GraphPad Software Inc., California, USA) und SPSS 11.0 (SPSS Inc., Illinois, USA). Für die deskriptive Statistik wurden arithmetisches Mittel und Standardabweichung berechnet. Um die Methode der T-Senke mit den anderen Methoden zu vergleichen wurde eine Korrelationsanalyse gegenüber der Maximalleistung und zwischen den Methoden durchgeführt. Um die Methoden direkt miteinander zu vergleichen wurden Bland-Altman-Diagramme erstellt.

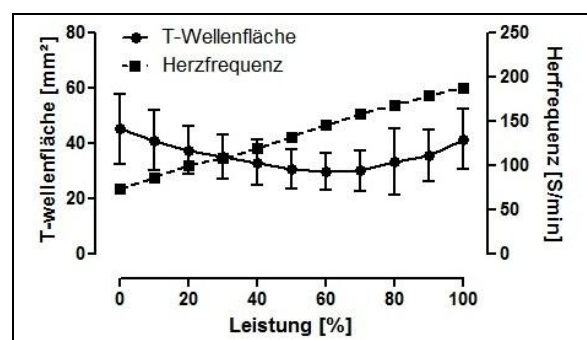


Abb. 2: T-Wellenfläche und Herzfrequenz im ersten Belastungsanstieg

Eine Proportionalität zwischen T-Wellenfläche und Belastung als auch Herzfrequenz kann nicht erkannt werden. Die gesteigerte Herzfrequenz ist demnach nicht die Ursache für die Veränderung der T-Wellenfläche. Eine indirekte Proportionalität zwischen Herzfrequenz und T-Wellenfläche bis zum Erreichen der T-Senke ist damit nachweisbar. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse sind in Tabelle 3 einzusehen.

**Tabelle 2 Deskriptive Statistik Doppelstufentest**

Leistung/ Schwelle	absolut (Watt)	relativ (%)
Maximalleistung	302,7 ± 28,9	100*
T-Senke	191,6 ± 30,7	63,6 ± 9,2
Laktatsenke	213,1 ± 28,5	70,5 ± 4,4
VT	156 ± 21,7	51,9 ± 6,1
RCP	245,5 ± 29,87	81,3 ± 4,5

\* Annahme der kompletten Ausbelastung

**Tabelle 3 Korrelationen nach Pearson zwischen den einzelnen Methoden**

	Maximalleistung	T-Senke	Laktatsenke	VT	RCP
Maximalleistung	1	,458(*)	,900(*)	,528(*)	,891(*)
T-Senke	,458(*)	1	,513(*)	,477(*)	,479(*)
Laktatsenke	,900(*)	,513(*)	1	,664(*)	,898(*)
VT	,528(*)	,477(*)	,664(*)	1	,672(*)
RCP	,891(*)	,479(*)	,898(*)	,672(*)	1

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Lediglich zur Laktatsenke besitzt die T-Senke einen mittleren Zusammenhang. Zu den anderen Methoden, sowie zur Maximalleistung besteht nur eine schwache Korrelation. Zwischen den anderen Methoden kann immer eine mittlere oder starke Korrelation nachgewiesen werden. Die Standardabweichung in allen Bland-Altman-Tests der T-Senke ist immer größer, als die der anderen Methoden untereinander. Da die Methode der T-Senke unabhängig von metabolischen Veränderungen wie der Anhäufung von Laktat ist, war ein Zusammenhang zwischen den der T-Senke und den anderen Methoden nicht zu erwarten.

Um die Reproduzierbarkeit der T-Senke zu untersuchen wurde mit 13 Probanden ein erneuter Belastungstest durchgeführt. Die Verläufe der T-Wellenflächen in beiden Tests sind in Abbildung 3 dargestellt.

In der Varianzanalyse zwischen den beiden Kurven wurde ein F-Wert von 4,098 mit einer Signifikanz von 0,58 ermittelt. Damit besteht zwischen den Veränderungen der T-Wellenflächen kein signifikanter Unterschied. Durch die Korrelationsanalyse nach Pearson konnte eine mittlere Korrelation von ,703 ( $p < 0,01$ ) festgestellt werden. Im Ersten Test wurde die T-Senke bei  $28,97 \pm 7,21$  und im zweiten Test bei  $28,03 \pm 5,12$  erreicht. Des Weiteren wurde ein Bland-Altman-Diagramm gebildet um die Veränderung der Werte bei 60% der Maximalleistung (T-Senke) bei jedem Probanden von Test 1 zu Test 2 zu zeigen. Der Mittelwert der Differenzen liegt dabei bei  $0,94 \pm 4,71$

## Diskussion

Die nichtlineare Veränderung der T-Wellenfläche unter Belastung gibt Anlass dieses Verhalten zu erklären und dadurch möglichst einen Nutzen für leistungsdiagnostische Untersuchungen zu generieren.

In seiner Untersuchung stellt Fikenzer et al. (2005) fest, dass kein direkter Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und T-Wellenfläche besteht. Jedoch wird beschrieben,

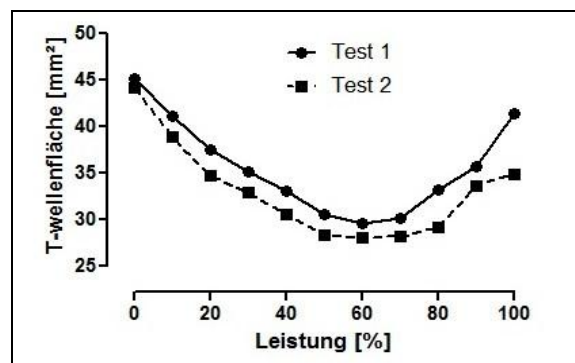


Abb. 3: Veränderung der T-Wellenflächen beider Tests unter Belastung

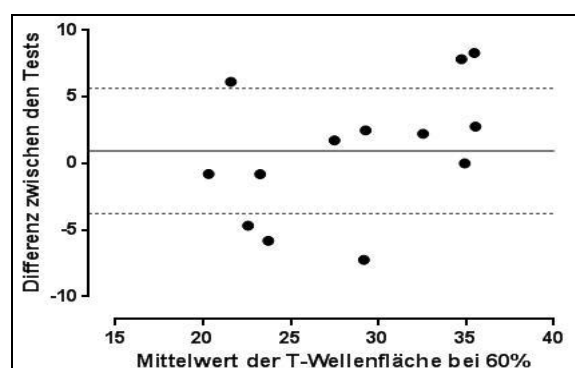


Abb. 4: Bland Altman Diagramm der wiederholten Tests bei 60% der Maximalleistung (T-Senke)

dass die T-Dauer unter Belastung stetig kürzer wurde [3]. Das Ansteigen der Herzfrequenz wird durch den Einfluss des sympathikotonen Systems erklärt, das mit der Ausschüttung von Katecholaminen den  $Ca^{2+}$ -Einstrom erhöht und damit den kontraktilem Apparat der Zelle beeinflusst. Bei leichter und mittlerer Belastung wird die Herzfrequenz durch ein Absinken des

Parasympathikotonus geregelt, bei weiterer steigender Belastung über die Zunahme des Sympathikotonus [4]. In einer Untersuchung von Spataro et al. (1998), in der über eine Stimulation der Sympathikotonus erhöht wurde, konnte eine Vergrößerung der Amplitude der T-Welle festgestellt werden [15]. Das Ergebnis dieser Untersuchung unterstützt den Erklärungsansatz, wodurch sich die T-Welle unter Belastung durch den Einfluss von Sympathikus und Parasympathikus verändert. Die Ergebnisse der Untersuchung von Leuthäusel (1977) beschreiben auch eine Verringerung der T-Wellenfläche bei geringer bis mittlerer Belastung und eine folgende Vergrößerung bei Intensivierung der Belastung. Als

Ursache wird in dieser Untersuchung eine Ischämie der Innenschichten im Herzmuskel diskutiert [9].

Gegenüber den bisher verwendeten Methoden ist die T-Senke unabhängig von metabolischen Veränderungen wie der Anhäufung von Laktat. Die Streubreite der T-Senke ist höher als die der bisher verwendeten Methoden. Eine Erklärung könnte die individuellere Anpassung von Sympathikus und Parasympathikus auf Belastung sein und könnte damit eine große Chance in der Leistungsdiagnose bieten. Der Wert dieser Methode soll deshalb in den Vordergrund gerückt werden, da sie unabhängig von metabolischen Veränderung ist. Der Versuch die T-Senke leistungsdiagnostisch zu nutzen soll darum weiterhin unternommen werden.

## Literatur

- Braumann, K. – M., Tegtbur, U., Busse, M. W. & Maassen, N. (1991). Die „Laktatsenke“ - Eine Methode zur Ermittlung der individuellen Dauerleistungsgrenze. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 42 (6), 240 – 246.
- Dickhuth, H. – H., Röcker, K., Mayer, F., Nieß, A., Horstmann, T., Heitkamp, H. – C. & Dolezel, P. (1996). Bedeutung der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung bei Ausdauer- und Sportsportarten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 47 (Sonderheft), 183 – 189.
- Fikenzer, S., Nißing, A., Tegtbur, U., Thomas, M. & Busse, M. (2005). T-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung. *Klinische Sportmedizin/ Clinical Sports Medicine Germany (KCS)*. 6 (3), 24 – 28.
- Fikenzer, S. (2008). *Physiologische Ursachen für das Verhalten belastungsspezifischer EKG Charakteristika im Vergleich zu anderen Kenngrößen der Belastung*. Leipzig: Universität Leipzig, Institut für Sportmedizin.
- Frank, E. (1956). An accurate, clinically practical system for spatial vectorcardiography. *Circulation*. 13 (5), 737 – 749.
- Gertsch, M. (2007). *Das EKG. Auf einen Blick und im Detail*. Heidelberg: Springer.
- Heinecker, R. & Gonska, B. – D. (1992). *EKG in Praxis und Klinik*. (13. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme.
- Kindermann, W. (1989). Schon wieder (immer noch) Laktat?. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 40 (9), 311.
- Leuthäusel, W. (1977). Vector analysis of the repolarization phase in the exercise-ecg with Frank leads. *Basic Res Cardiol*. 72(6), 605 – 610.
- Löllgen, H., Steinberg, T. & Fahrenkrog, U. (2010). Belastungs-EKG: Ischämiediagnostik. In H. Löllgen, E. Erdmann & A. Gitt. (Hrsg.). *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. (3.Aufl.). (S. 85 - 102). Heidelberg: Springer.
- Müller, G.A. (2011). Moderne Therapiekonzepte der kardiologischen Rehabilitation. *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie*. 25(4), 187 – 192.
- Röcker, K. & Dickhut, H.-H. (1994). Einige Aspekte zur Festlegung der Dauerleistungsgrenze. In D. Clasing, H. Weicker & D. Böning (Hrsg.). *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*. (27 – 35). Stuttgart [u. a.]: Gustav Fischer.
- Röcker, K. (2008). Streit um des Kaisers Bart: Welche Laktatschwelle ist die beste?. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59 (12), 303 – 304.
- Schnabel, G., Harre, D., Krug, J. & Borde, A. (2003). *Trainingswissenschaft: Leistung-Training-Wettkampf*. (3.Aufl.). Berlin: Sportverlag.
- Spataro, A., La Mura, G., Marcello, G., Alabiso, A., Naccari, D. & Pelliccia, A. (1998). The electrocardiographic T wave changes in highly trained athletes during training. An old problem revisited. *Journal Sports Med Phys Fitness*. 38(2), 164 – 168.
- Steinberg, T. & Löllgen, H. (2010). Durchführung der Ergometrie: Indikationen, Kontraindikationen, Abbruchkriterien. In H. Löllgen, E. Erdmann & A. Gitt (Hrsg.). *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. (3.Aufl.). (S. 51 - 60). Heidelberg: Springer.
- Tomastis, J. & Haber, P. (2008). *Leistungsphysiologie. Grundlage für Trainer, Physiotherapeuten und Masseure*. (3.Aufl.). Wien: Springer.
- Weicker, H. & Braumann, K. – M. (1994). Zusätzliche Untersuchungsparameter, die die Interpretation des Laktatschwellenbereichs unterstützen. In D. Clasing, H. Weicker, & D. Böning (Hrsg.). *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*. (229 – 232). Stuttgart [u. a.]: Gustav Fischer.
- Wassermann, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Whipp, B. J. & Casaburi, R. (1994). *Principles of testing and interpretation*. Philadelphia: Williams & Wilkins.
- Westhoff, M. & Rühle, K. – H. (2011). Spiroergometrie. *Der Pneumologe*. 8 (2), 85 – 91.
- Wonisch, M., Hofmann, P., Pokan, R., Kraxner, W., Hödl, R., Maier, R., Watzinger, N., Smekal, G., Klein, W. & Fruhwald, F. M. (2003). Spiroergometrie in der Kardiologie – Grundlagen der Physiologie und Terminologie. *Journal für Kardiologie*, 10 (9), 383 – 390.
- Wonisch, M., Pokan, R., Hofmann, P., Smekal, G. & Schwaberg, G. (2009). Spiroergometrie. In R. Pokan, W. Benzer, H. Gabriel, P. Hofmann, E. Kunschitz, K. Mayr, G. Samitz, K. Schindler & M. Wonisch (Hrsg.). *Kompodium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation*. 207 – 223. Wien, New York: Springer.

**Korrespondenzadresse:** M. Sc. Christoph Pökel  
Universität Leipzig  
Institut für Sportmedizin und Prävention  
Marschner Str. 29  
04109 Leipzig  
[christoph.poekel@uni-leipzig.de](mailto:christoph.poekel@uni-leipzig.de)