

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

VII. T-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung

Fikenzer S¹, Nißing A, Tegtbur U², Thomas M³, Busse M¹

Institut für Sportmedizin/Sportmedizinische Ambulanz und Rehabilitationszentrum der Universität Leipzig¹(Direktor: Prof. Dr. med. M. W. Busse)

Sportmedizinisches Zentrum der Med. Hochschule Hannover²(Direktor: PD Dr. med. U. Tegtbur)

Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität Leipzig³(Direktor: Prof. Dr. med. G. von Salis-Soglio)

Zusammenfassung

Fikenzer S, Nißing A, Tegtbur U, Thomas M, Busse M. T-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2005, 6 (2):24-28.*

Einleitung: Die vorliegende Arbeit überprüft die Veränderungen der T-Dauer (Repolarisationsdauer) während und nach Belastung. Dabei wird überprüft, ob die T-Dauer eine abhängige Variable der Herzfrequenz ist. Diese Beziehung wurde während und nach stufenförmig ansteigender Belastung untersucht. Zur Untersuchung der unmittelbaren Reproduzierbarkeit wurde nach der Pause ein weiterer Belastungstest durchgeführt.

Material und Methode: 40 Personen (28 Männer, 12 Frauen, Alter $33,28 \pm 15,62$ Jahre) ohne gesundheitliche Einschränkungen wurden in einem doppelten stufenförmig ansteigenden Halbliegeergometererprobungsbelastungstest untersucht. Zur Auswertung der T-Dauer dienten die Frank-Ableitungen X, Y und Z. Untersucht wurden die Variablen bei 0% - 100% der Maximalleistung in 10%-Stufen und in den Pausen nach der 1., 3. und 5. Minute.

Ergebnisse:

- Eine lineare Beziehung von Herzfrequenz und T-Dauer besteht unter Belastung.
- Eine weitere Verkürzung der T-Dauer nach Belastung bei gleichzeitiger Verringerung der Herzfrequenz schließt die T-Dauer als direkte abhängige Variable der Herzfrequenz aus.

Schlüsselwörter: T-Dauer, Herzfrequenz, körperliche Belastung

Abstract

Fikenzer S, Nißing A, Tegtbur U, Thomas M, Busse M. ST-segment and heart rate during and after exercise tests. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2005, 6 (2):24-28.*

Objective: The present study examines the relationship between T-wave duration and heart rate during and after a maximum treadmill test. To examine the immediate reproducibility of the variables and their relationship, the first exercise test was followed by a second immediately after a short active recovery.

Material and methods: The measured T-wave and heart rate were examined in 40 healthy subjects (28 men, 12 women, age $33,28 \pm 15,62$ years) during two successive treadmill tests. For the ECG-analysis the FRANK leads system (X, Y, Z) was used. The results were analyzed at 0% to 100% of maximum work load using 10% intervals and during recovery after the 1st, 3rd and 5th minute.

Results:

- There is a linear relationship between T-wave duration changes and heart rate only during exercise.
- after maximum exercise the T-wave still shortens while the heart rate decreases.

Conclusion: A cause-effect relationship between heart rate and T-wave may not exist.

Keywords: T-wave, heart rate, exercise test

Einleitung

Es ist bekannt, dass Belastung zu Veränderungen der Systolendauer führt. Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen die sich mit der Veränderung der Systolendauer unter Belastung beschäftigt haben [1,5,7,9,10,11]. Die Repolarisation als eigenständiger Abschnitt der Systole wurde dabei weniger untersucht. Da dieser Erregungsabschnitt Bestandteil des QT-Intervalls ist und Veränderungen in diesem Abschnitt Einfluss auf die Veränderungen des QT-Intervalls haben, ist diese Frage

von grundsätzlichem Interesse. Dies gilt insbesondere auch in Hinsicht auf die klinisch angewandte Beziehung zwischen Herzfrequenz und QT-Dauer. In der vorliegenden Studie wird der Zusammenhang zwischen T-Dauer und Herzfrequenz zu verschiedenen Zeitpunkten vor, während und nach Belastung überprüft. Weiterhin wird durch wiederholte, unmittelbar aufeinanderfolgende Belastungen die unmittelbare Reproduzierbarkeit der Ergebnisse untersucht.

Methodik

Untersuchungsgruppe:

40 gesunde Probanden (Tab.1) wurden im Rahmen einer routinemäßigen Leistungsdiagnostik auf einem Halbliegendergometer (Ergoline® er900EL) untersucht.

Untersuchungsablauf:

Die Probanden wurden in halbliegender Position untersucht. Die Steigerung der Belastung erfolgte um 10 Watt/min, beginnend mit 30 Watt bis zur subjektiven Erschöpfung bzw. bis objektive Kriterien zum Testabbruch erreicht wurden (Abb. 1). Das EKG (Vektorkardiographie der Firma Hewlett Packard MIDA™ Typ M2045A) zur Bestimmung von Herzfrequenz (Hf) und T-Dauer wurde, beginnend mit dem Ruhewert vor Belastung, am Ende jeder dritten Belastungsminute sowie zum Zeitpunkt der

Ausbelastung ausgewertet (Test 1, Abb. 1). Im Anschluss führen die Probanden 5 Minuten bei 25 % der maximal erreichten Leistung. Die EKG-Registrierung erfolgte in der Pause am Ende der 1., 3. und 5. Minute (Pause 1, Abb.1). Im Anschluss an Pause 1 wurde die Belastung erneut um 10 Watt/min bis zur subjektiven Erschöpfung gesteigert (Test 2, Abb. 1), gefolgt von Pause 2 (Abb. 1). Ein Teil der Auswertung wird auf die relative Belastung (% Maximalleistung) bezogen (Abb. 2). Um für alle Probanden gleiche Prozentsätze angeben zu können, wurden die Datensätze interpoliert. Der statistische Vergleich erfolgte auf der Basis der relativen Leistung.

Probandenzahl	N=40
Alter	Mittelwert = 33,28 ± 15,62 Jahre
Größe	Mittelwert = 173,8 cm ± 10,93cm
Gewicht	Mittelwert = 76,05 kg ± 17,71 kg.
Geschlecht	12 weiblich und 28 männlich

Tabelle 1: Soziodemographische Daten

Das Nativ-EKG wurde als Vektorkardiogramm nach FRANK angelegt. Zur Erfassung der Daten dienten die Ableitungen X, Y und Z. Aufgrund des dreidimensionalen Charakters des Frank-EKGs wurde die T-Dauer beginnend mit dem frühesten Beginn der T-Welle einer Ableitung sowie dem letzten Ende der T-Welle einer anderen Ableitung bestimmt [6].

Ergebnisse

In Abb. 2 ist die gemessene T-Dauer sowie die Herzfrequenz (HF) im Verhältnis zur relativen Belastung dargestellt. Besonders auffällig ist die unmittelbare Nachbelastungsphase (Abbruch und Pause).

Bis zur 1. Nachbelastungsminute verkürzt sich die T-Dauer signifikant ($p < 0,05$) im Mittel um 4 ms während im gleichen Zeitraum die Hf gleichfalls signifikant ($p < 0,001$) um 27 Schläge/min abfällt (Abb. 3)

Die unmittelbare Reproduzierbarkeit des Verhältnisses von Belastung zum T-Dauer ist in Abb. 4 verdeutlicht. Die T-

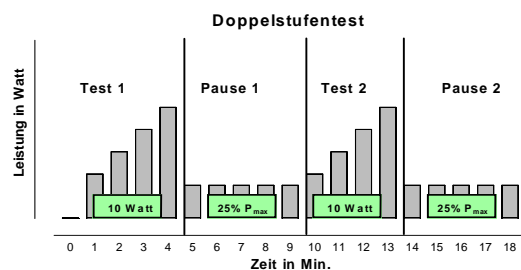


Abbildung 1: Untersuchungsdesign Doppelstufentest

Die Ergebnisse werden als Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Stabw) angegeben. Die Signifikanz von Unterschieden wird mittels einer Varianzanalyse für Messwiederholungen berechnet. Signifikanzangaben: $p < 0,05$: *, $p < 0,01$: **, $p < 0,005$: ***, $p < 0,001$: ****

Dauer ist bei leichter bis mittlerer Belastung in Test 2 zunächst signifikant kürzer als in Test 1 (Abb. 4). In Test 2 ist die Hf bei Belastungsbeginn und leichter Belastung bis 50% Wmax erkennbar um 13 S/min höher als in Test 1.

Abb. 5 zeigt zugleich, dass das Verhältnis von T-Dauer und Hf unmittelbar reproduzierbar ist. Es existiert statistisch kein Hinweis auf Unterschiede.

In Abb. 6 a, b ist die gemessene T-Dauer in Abhängigkeit von der Hf unter Belastung dargestellt.

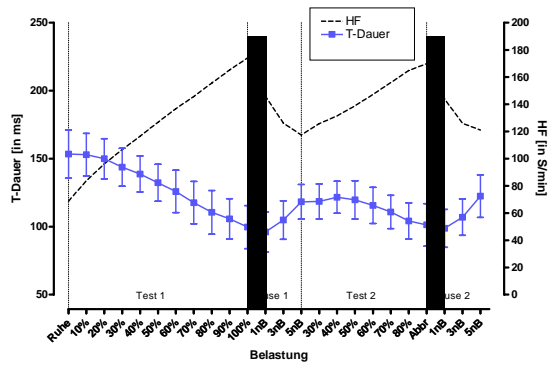


Abbildung 2: T-Dauer (ms, blau, MW ± SD) und Herzfrequenz (s/min, schwarz) während und nach Belastung.

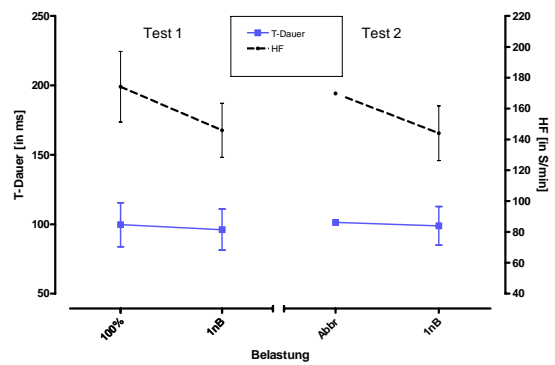


Abbildung 3: T-Dauer (ms, blau, MW ± SD) und Herzfrequenz (s/min, schwarz) im Übergang von Maximaler Belastung und Erholung.

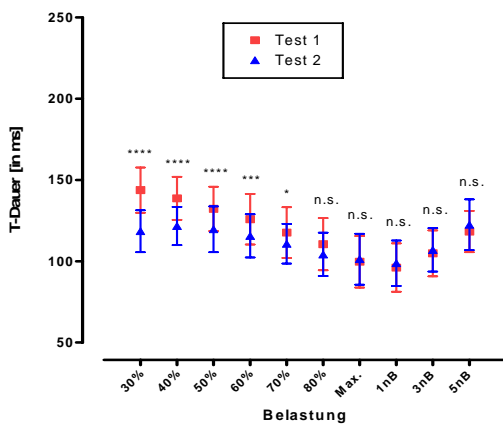


Abbildung 4: Veränderungen der gemessenen T-Dauer von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

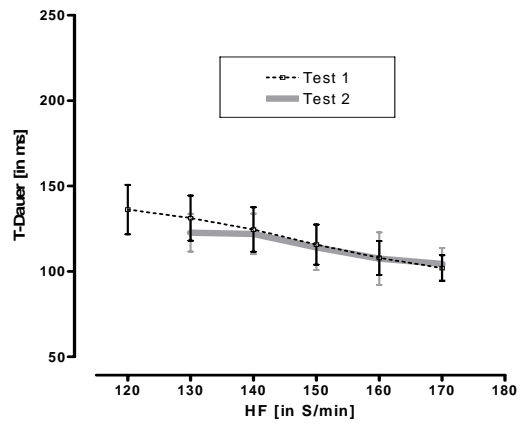


Abbildung 5: Die T-Dauer (ms, schwarz, MW ± SD) aus Test 1 und die T-Dauer (ms, grau, MW ± SD) aus Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

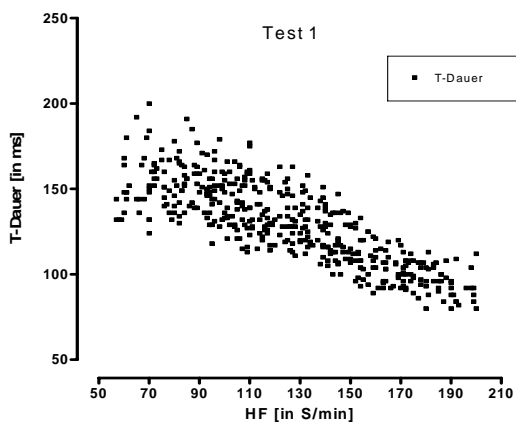


Abbildung 6a: T-Dauer (ms, schwarz) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

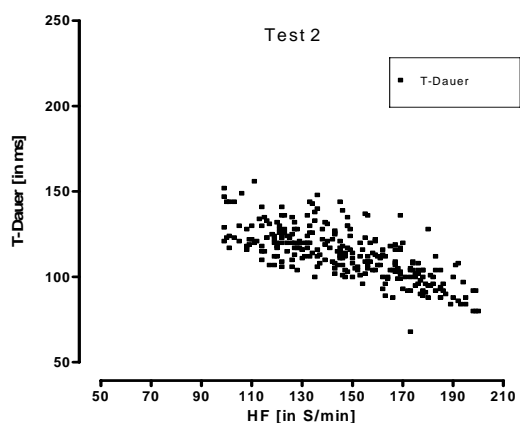


Abbildung 6b: T-Dauer (ms, schwarz) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

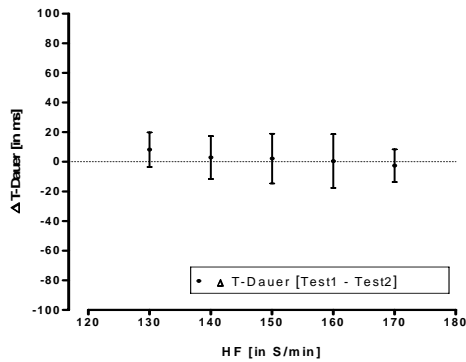


Abbildung 7: Differenz ΔT -Dauer (ms) (T-Dauer Test 1 – T-Dauer Test 2) in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

Es ist erkennbar (Abb. 7), dass bei mittleren bis hohen Frequenzen von ca. 130/min bis 170/min die T-Dauer aus Test 1 nur unwesentlich von den Werten der T-Dauer aus Test 2 abweicht.

In Abb. 8a, b ist die Beziehung zwischen HF und T-Dauer für die Nachbelastungsphasen dargestellt.

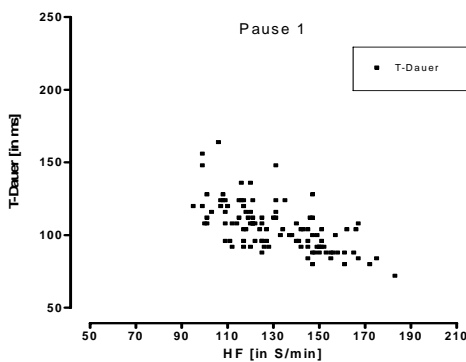


Abbildung 8a: T-Dauer (ms, schwarz) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

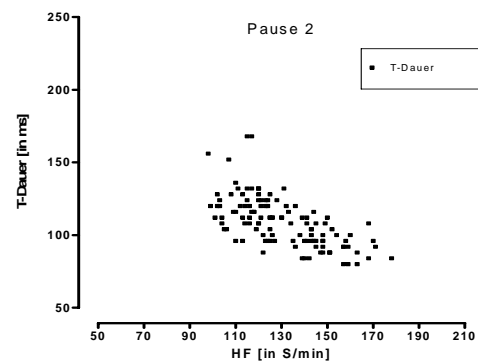


Abbildung 8b: T-Dauer (ms, schwarz) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass es unter Belastung zu einer Verkürzung der T-Dauer kommt. In der vorliegenden Arbeit tritt im Übergang von maximaler Belastung zur Erholung eine Entkoppelung der sonst bestehenden Relation von Herzfrequenz und T-Dauer auf. So betrug die T-Dauer Verkürzung bis zur 1. Nachbelastungsminute weitere 4 ms (HF-Abfall dabei 27 Schläge). Dieser Befund war im Prinzip in zwei aufeinanderfolgenden Belastungstests reproduzierbar. Diese Dissoziation des üblichen Verhältnisses von HF und T-Dauer nach Belastung ist uns aus der Literatur nicht bekannt. Eine Erklärung dieser Ergebnisse ist aus den vorliegenden Daten nicht möglich. Es ist bekannt, dass bereits eine Minute nach Belastungsabbruch die Katecholaminkonzentration im Plasma deutlich abfällt. Der Abfall der Herzfrequenz im gleichen Zeitraum würde hier einen Zusammenhang erkennen lassen. Zugleich verkürzen sich jedoch die T-Dauer und auch andere EKG-Parameter [2,3,4] in der ersten Nachbelastungsminute

weiter, was die T-Dauer als direkte abhängige Variable der Herzfrequenz für diese Bedingungen fraglich erscheinen lässt. Zu diskutieren wäre allerdings der unterschiedliche Effekt des Parasympathikotonus auf Sinusknoten und Arbeitsmyokard. Hierzu lässt sich folgende Hypothese aufstellen: In den ersten Nachbelastungsminuten kommt aufgrund des sich reduzierenden Sympathikotonus zu einem relativen Anstieg des Parasympathikotonus. Dieser bewirkt am Sinusknoten durch bekannte Mechanismen einen Frequenzabfall. Aufgrund fehlender Wirksamkeit des Parasympathikotonus am Kammermyokard überwiegt hier zunächst noch der Sympathikotonus. Diese Gegebenheiten würden zumindest eine Dissoziation von Herzfrequenz und T-Dauer in der initialen Nachbelastungsphase erklären. Die vorliegenden Befunde müssen demnach zunächst durch weitere Untersuchungen mit quantifizierbarer Modifikation des Sympathikotonus vertieft werden.

Literatur

- 1.) Aytemir K, Maarouf N, Gallagher M, Yap Y, Waktare J, Malik M (1999) Comparison of formulae for heart rate correction of QT Intervall in exercise electrocardiograms. *Pace* 22: 1397-1401
- 2.) Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S (2004) QT-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung. *KCS* 5 (2): 39-44
- 3.) Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S (2004) PQ-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung. *KCS* 5 (2): 45-49
- 4.) Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S (2004) P-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung. *KCS* 5 (3): 50-54
- 5.) Ciavolella M, Puddu P, Schiariti M, Ciani C, Cerquetani E, Scali D, Giannitti C, Reale A (1991) Exponential fit of the QT interval – heart rate relation during exercise used to diagnose stress induced myocardial ischemia. *Journal of Electrocardiology* 24 (2): 145 – 153
- 6.) Heinecker und Gonska: *EKG in Klinik und Praxis*, Stuttgart: Thieme Verlag, 1992.
- 7.) Huang M, Ebey J, Wolf S (1991) Heart rate-QT interval relationship during postural change and exercise. *Integr Physiol Behav Sci* 26(1): 5 – 17
- 8.) McPherson D, Horacek M, Sutherland D, Armstrong S, Spencer A, Montague T (1985) Exercise Electrocardiographic Mapping in normal subjects. *J Electrocardiology* 18(4): 351-360
- 9.) Simoons ML, Hugenholtz PG (1975) Gradual changes of ECG waveforms during and after exercise in normal subjects. *Circulation* 52: 570-577
- 10.) Simoons ML, Hugenholtz PG (1977) Estimation of the probability of exercise-induced ischemia by quantitative ecg analysis. *Circulation* 56 (4): 552-559
- 11.) Wolthius RA, Froehlicher VF, Hopkirk A, Fischer JR, Keiser N (1979) Normal electrocardiographic waveform characteristics during treadmill exercise testing. *Circulation* 60 (5): 1028-103

Korrespondenzadresse: Dipl.Sportl. S.Fikenzer
Institut für Sportmedizin der Universität Leipzig
Marschnerstrasse 29
D-04109 Leipzig
E-Mail: sven.fikenzer@uni-leipzig.de