

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

I. QT-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung

Busse M¹, Nißing A, Thomas M², Tegtbur U³, Fikenzer S¹

Institut für Sportmedizin/Sportmedizinische Ambulanz der Universität Leipzig¹ (Direktor: Prof. Dr. med. M. W. Busse)
Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität Leipzig² (Direktor: Prof. Dr. med. G. von Salis-Sogliano)
Sportmedizinisches Zentrum der Med. Hochschule Hannover (Leiter: PD Dr. med. U. Tegtbur)

Zusammenfassung

Busse M, Nißing A, Thomas M, Tegtbur U, Fikenzer S. QT-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2004, 5(2):39-44.*

Einleitung: Für die klinische Diagnostik wird auf die Formel nach Hegglin-Holzmann $[QT_{HH}] QT = (0,39 * (R-R)^{0,5} \pm 0,04)$ für den Bezug von Herzfrequenz und QT-Zeit zurückgegriffen. Dabei wird die QT-Zeit als abhängige Variable der Frequenz gesehen. 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 Halbliegeergometerbelastet. Zur Auswertung der QT-Zeit dienten die Frank-Ableitungen X, Y und Z. Untersucht wurden die Variablen zu bei 0% -

100% der Maximalleistung in 10%-Stufen und in den Pausen nach der 1., 3. und 5. Minute.

Ergebnisse:

1. Die Beziehung zwischen Herzfrequenz und QT-Zeit gilt unmittelbar nach submaximaler Belastung nicht. Die weitere Verkürzung der QT-Zeit bei gleichzeitigem Abfall der Herzfrequenz macht die QT-Zeit als direkte abhängige Variable der Herzfrequenz für diese Bedingungen fraglich.
2. Die berechnete QT-Zeit unterscheidet sich während Belastung signifikant von der gemessenen QT-Zeit bei mittleren und hohen Herzfrequenzen (130 S/min, 140S/min, 150S/min, 160S/min, 170S/min) ($p < 0,001$)

Fazit: Die bekannte Beziehung zwischen Herzfrequenz und QT-Zeit gilt unter körperlicher Belastung nur eingeschränkt bzw. nicht.

Schlüsselwörter: QT-Zeit, Herzfrequenz, körperliche Belastung

Abstract

Busse M, Nißing A, Thomas M, Tegtbur U, Fikenzer S. QT-interval and heart rate during and after exercise tests. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2004, 5(2):39-44.*

Objective: The Hegglin and Holzmann formula $[QT_{HH}] QT = (0,39 * (R-R)^{0,5} \pm 0,04)$ is used in clinical diagnostics. It is based on the assumption that the QT-interval is a dependent variable of the heart rate. This relationship during and after a maximum treadmill test was checked. To investigate 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 QT-interval, heart rate and QT_{HH} calculated from 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 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:

1. The relationship between QT-interval and heart rate does not yield in the 1st minute after high intensity workload. In the 1st minute the QT-Interval is shortening while the heart rate falls. Thus the QT-interval may not depend on heart rate during these conditions.
2. The measured QT-interval differs significantly from the QT_{HH} during exercise at medium and high heart rates (130 b/min, 140 b/min, 150 b/min, 160 b/min, 170 b/min) ($p < 0,001$)

Conclusion: The well known relationship between QT-interval and heart rate does not yield during all conditions. Possibly no causal interrelationship exists.

Keywords: QT-Interval, heart rate, exercise test

Einleitung

In den letzten 80 Jahren wurde immer wieder der Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der Systolendauer untersucht [2,3,6,7,10,13,14,16]. Aus den

daraus gewonnenen Erkenntnissen über einen umgekehrt proportionalen Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der QT-Zeit, entwickelte man

Berechnungsformeln für Normalwerte, wie sie z.B. auf der Mehrzahl der üblichen EKG-Lineale angegeben sind [8]. Neuere Untersuchungen ergaben, daß es neben der Herzfrequenz noch viele weitere Einflußgrößen auf die Systolendauer gibt. Hierbei wurden insbesondere Wirkstoffe mit sympathikotonem und parasympathikotonem Einfluß untersucht [1,4,12,15]. Trotz zahlreicher Veröffentlichungen existieren keine systematischen Untersuchungen zur QT-Zeit in

Abhängigkeit von der relativen körperlichen Belastung. In der vorliegenden Studie wird daher der Zusammenhang zwischen der QT-Zeit und der 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 (Vektorcardiographie der Firma Hewlett Packard MIDA™ Typ M2045A) zur Bestimmung von Herzfrequenz (Hf), QT-Zeit und berechneter QT-Zeit entsprechend der Gleichung $[QT_{HH}=(0,39*[60/HF]^0,5\pm 0,04)*1000]$ [8] wurden,

beginnend mit dem Ruhewert vor Belastung, am Ende jeder dritten Belastungsminute sowie zum Zeitpunkt der Ausbelastung ermittelt (Test 1, Abb. 1). Im Anschluss führen die Probanden 5 Minuten bei 25 % der maximal erreichten Leistung. Die Erhebung der genannten Größen 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 [5] angelegt. Zur Erfassung der Daten diente die Ableitungen X, Y und Z. Aufgrund des dreidimensionalen Charakters des Frank-EKGs wurde die QT-Zeit beginnend mit dem frühesten QRS-Komplex sowie dem Ende letzten T-Welle bestimmt. Als Ende der T-Welle wurde das erstmalige Erreichen der isoelektrischen Linie festgelegt [9].

Ergebnisse

In Abb. 2 sind berechnete und gemessene QT-Zeit sowie die Herzfrequenz (HF) im Verhältnis zur relativen Belastung dargestellt. Die Gruppen (berechnete und gemessene QT-Werte) unterscheiden sich in ihrem Verhalten über die Zeit insgesamt signifikant ($p < 0.001$). Besonders auffällig ist die unmittelbare Nachbelastungsphase (Abbruch und Pause).

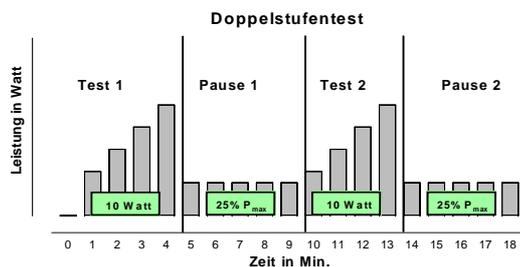


Abbildung 1: Untersuchungsdesign Doppelstufentest

Die Ergebnisse werden als Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Stabw) angegeben. Die Signifikanz von Unterschieden wird mittels einer Varianzanalyse für Messwiederholungen berechnet. Signifikanzangaben: $p < 0.05$: *, $p < 0.01$: **, $p < 0.005$: ***, $p < 0.001$: ****

In der 1. Nachbelastungsminute verkürzt sich die QT-Zeit signifikant ($p < 0,001$) um 4ms, 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 zur QT-Zeit ist in Abb. 4 a,b verdeutlicht.

In Test 2 liegt die Hf bei Belastungsbeginn und leichter Belastung bis 50% Wmax erkennbar um 13 S/min höher

als in Test 1. Die QT-Zeit ist bei leichter und mittlerer Belastung in Test 2 zunächst signifikant kürzer als in Test 1 (Abb. 4 a, b).

In Abb. 5 a, b ist die gemessene und berechnete QT-Zeit in Abhängigkeit von der Hf unter Belastung dargestellt.

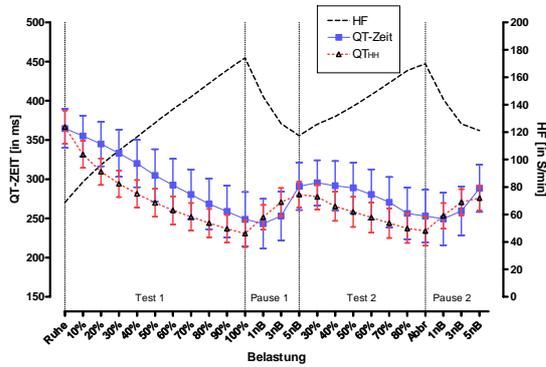


Abbildung 2: QT-Zeit gemessen (blau) (MW, SD), QT-Zeit berechnet (rot) (MW, SD) und die Herzfrequenz (schwarz) während und nach Belastung.

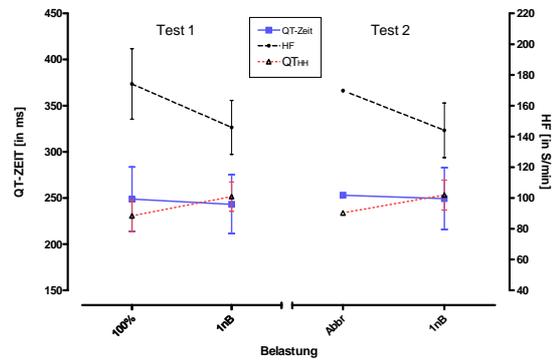


Abbildung 3: QT-Zeit gemessen (blau) (MW, SD), QT-Zeit berechnet (rot) (MW, SD) und die Herzfrequenz (schwarz) im Übergang von Maximaler Belastung

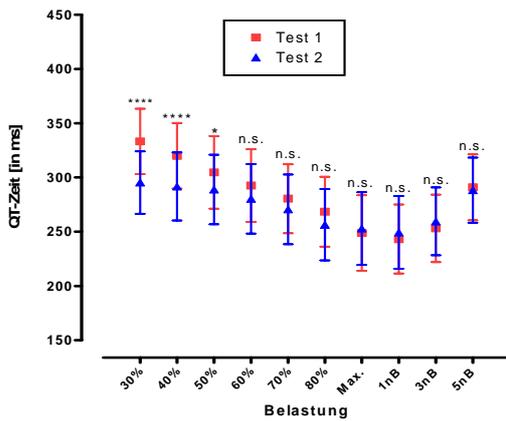


Abbildung 4a: Veränderungen der gemessenen QT-Zeit von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

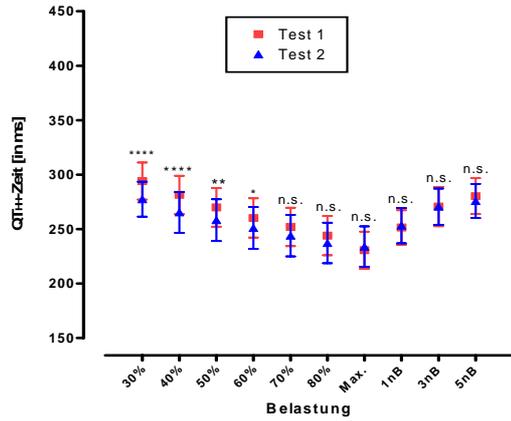


Abbildung 4b: Veränderungen der berechneten QT_{HH}-Zeit von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

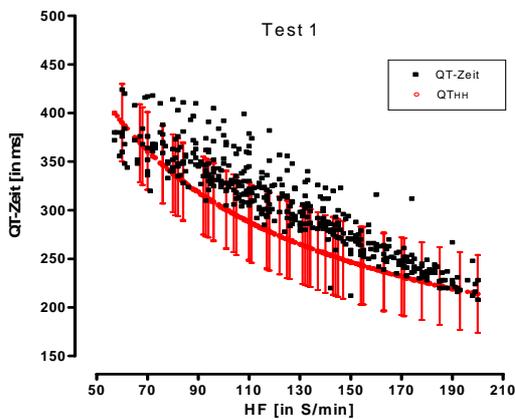


Abbildung 5a: Die gemessenen QT-Zeit (schwarz) und die berechnete QT-Zeit (rot, MW + SD) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

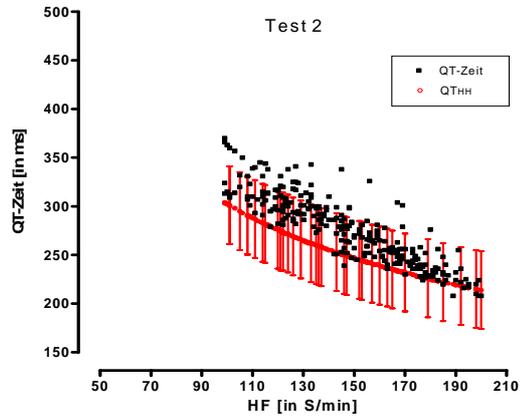


Abbildung 5b: Die gemessenen QT-Zeit (schwarz) und die berechnete QT-Zeit (rot, MW + SD) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

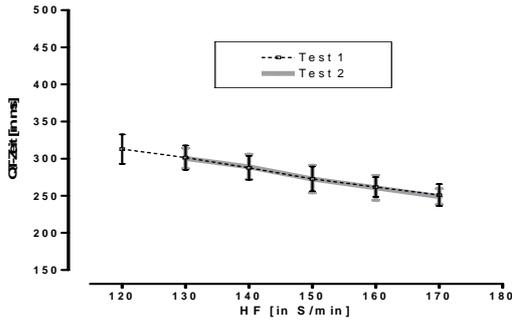


Abbildung 6: Die QT-Zeit (schwarz, MW + SD) aus Test 1 und die QT-Zeit (grau, MW + SD) aus Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

Es ist erkennbar, dass bei Frequenzen von ca. 90/min bis 170/min die gemessenen von den gerechneten QT-Zeiten abweichen. Diese Unterschiede waren bei Hf 130/min – 170/min signifikant ($p < 0,001$).

Abb. 6 zeigt zugleich, dass das Verhältnis von QT-Zeit und Hf unmittelbar reproduzierbar ist.

Die Abweichung der gemessenen zur gerechneten QT-Zeit ist in Abb. 7 a, b verdeutlicht.

In Abb. 8 a, b ist die Beziehung zwischen Hf und QT-Zeit für die Nachbelastungsphasen dargestellt.

Insgesamt liegen hier die gemessenen QT-Zeiten im Rahmen der vorgegebenen Streuung der berechneten Werte (40ms) (Abb. 9 a,b).

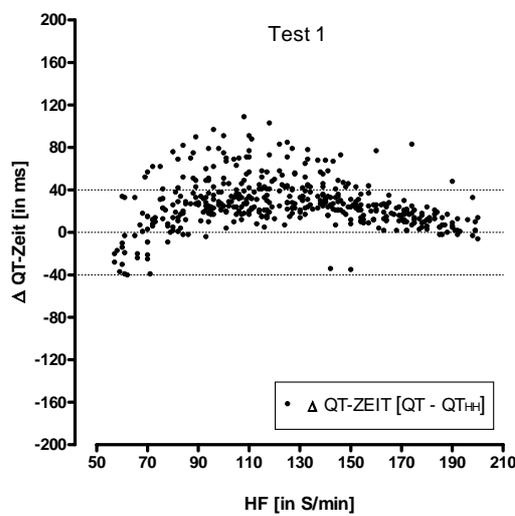


Abbildung 7a: Differenz Δ QT-Zeit (QT- QT_{HH}) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz. Gepunktete Linie stellt die Streubreite von 40 ms dar.

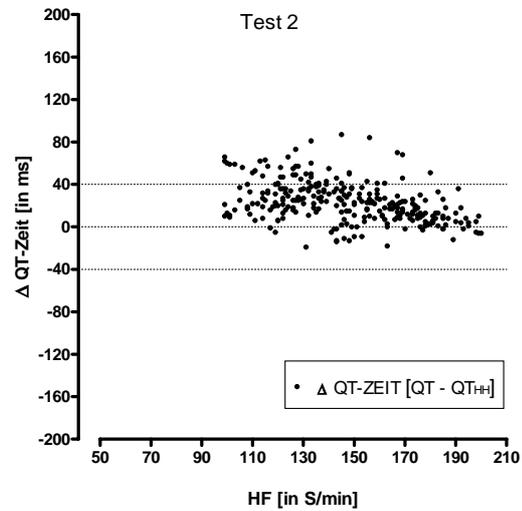


Abbildung 7b: Differenz Δ QT-Zeit (QT- QT_{HH}) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz. Gepunktete Linie stellt die Streubreite von 40 ms dar.

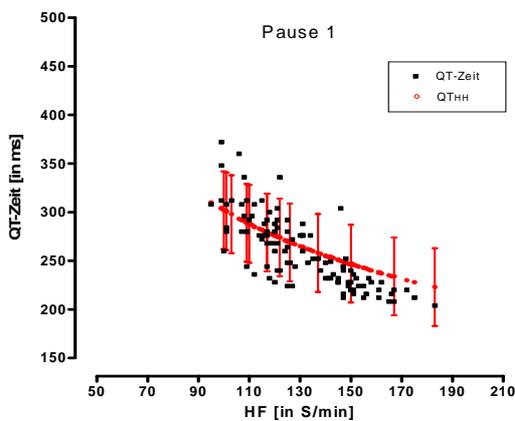


Abbildung 8a: Die gemessenen QT-Zeit (schwarz) und die berechnete QT-Zeit (rot, MW + SD) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

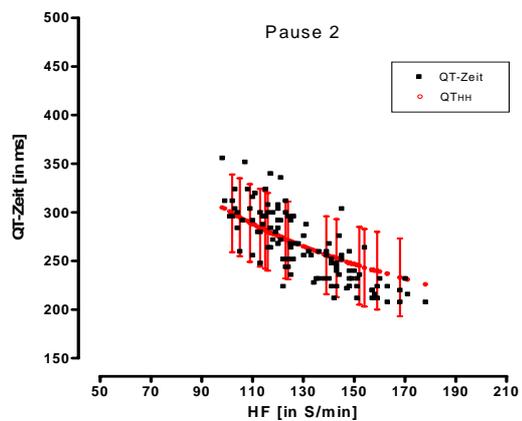


Abbildung 8b: Die gemessenen QT-Zeit (schwarz) und die berechnete QT-Zeit (rot, MW + SD) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

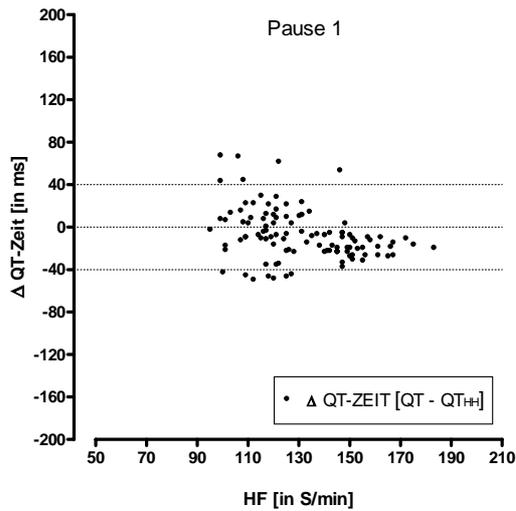


Abbildung 9a: Differenz Δ QT-Zeit ($QT - QT_{HH}$) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz. Gepunktete Linie stellt die Streubreite von 40 ms dar.

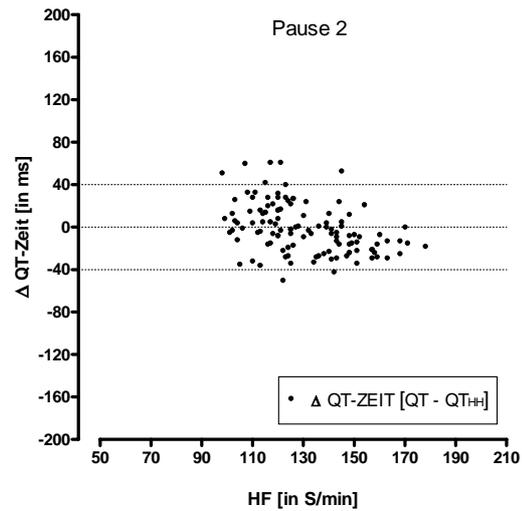


Abbildung 9b: Differenz Δ QT-Zeit ($QT - QT_{HH}$) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz. Gepunktete Linie stellt die Streubreite von 40 ms dar.

Diskussion

Die Abhängigkeit der QT-Zeit zur Herzfrequenz wird seit ca. 80 Jahren diskutiert. In der weiteren Entwicklung und Forschung stellten sich aber immer wieder Probleme bei der Nutzung von Formeln zur Berechnung der QT-Zeit ein und es wurden daraufhin viele Korrekturformeln $[QT_c]$ erstellt, um das Fehlermaß zu reduzieren. Diese Korrekturformeln, ob linear, parabolisch, hyperbolisch, polynomial oder exponentiell, sollen dazu dienen, die QT-Zeit unabhängig zur Herzfrequenz anzugeben. Die Probleme, Vor- und Nachteile der jeweiligen Formeln wurden ausgiebig diskutiert [2,3,6,10,12].

Auch diese Studie kann eine Korrelation zwischen Herzfrequenz und QT-Zeit während Belastung nachweisen. Diese Korrelation wird durch die Ergebnisse von Viitasalo et al. [16] und Aytemir et al. [2] bestätigt.

Eine solche Korrelation lässt jedoch keine Ursache-Wirkungsbeziehung zu. So kommt es im Übergang von maximaler Belastung zur Erholung zur Entkoppelung der sonst bestehenden Relation von Herzfrequenz und QT-Zeit.

Huang et al. [11] und Coghlan et al. [4] entdeckten in Ihren Untersuchungen eine entsprechende Entkoppelung zwischen HF und QT-Zeit zu Beginn einer Belastung. Sie vermuteten, daß dies auf neuronale Mechanismen

zurückzuführen sei, die die Herzfrequenz und die QT-Zeit zwar synchron regulieren, jedoch unabhängig voneinander arbeiten.

Dies wird durch Ahnve et al. [1] unterstützt. In dieser Untersuchung wurde gezeigt, daß bei belastungs-induziertem HF-steady-state sowohl von 90 S/min als auch bei 130 S/min eine Verabreichung von Propranolol, als β -Blockade, eine signifikante Veränderung der QT-Zeit hervorgerufen wird [1]. Diese Ergebnisse sprechen für die von Huang et al. [11] diskutierten, getrennten neuronalen Mechanismen, die die Herzfrequenz und die QT-Zeit unabhängig voneinander regulieren.

Die vorliegenden Befunde müssen demnach zunächst durch weitere Untersuchungen mit quantifizierbarer Modifikation des Sympathikonus vertieft werden.

Aus den Ergebnissen ist eine Nutzung der Berechnungsformel für QT aus der Herzfrequenz, zumindest unter Belastung, ungeeignet. Besondere Abweichungen sind bei mittleren und hohen Frequenzen (90 – 170 S/min) aufgetreten.

Dieser Effekt auf die QT-Zeit kann, auf Grund der vorliegenden Ergebnisse, als reproduzierbar eingeschätzt werden.

Literatur

- Ahnve S, Vallin H (1982) Influence of heart rate and inhibition of autonomic tone on the QT Interval. *Circulation* 65: 435 – 439.
- Aytemir K, Maarouf N, Gallagher M, Yap Y, Waktare J, Malik M (1999) Comparison of formulae for heart rate correction of QT Interval in exercise electrocardiograms. *Pace* 22: 1397-1401
- 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
- Coghlan J, Madden B, Norell M, Ilsley C, Mitchel A (1992) Paradoxical early lengthening and subsequent linear shortening of the QT interval in response to exercise. *Eur Heart J* 13: 1325-1328
- Frank E, (1956) An accurate clinically practical system for spatial vectorcardiography. *Circulation* 13: 737 – 749
- Funck – Brentano C, Jaillon P (1993) Rate Corrected QT – Interval: Techniques and Limitations. *Am J Cardiol* 72: 17B – 22B
- Garson A (1993) How to measure the QT interval – What is Normal? *Am J Cardiol* 72: 14B – 16B

8. Hegglin R, Holzmann M (1937) Die klinische Bedeutung der verlängerten QT-Distanz (Systolendauer) im Elektrokardiogramm. Zeitschrift für klinische Medizin 132: 1-32
9. Heinecker, Gonska (1992) EKG in Klinik und Praxis. Stuttgart: Thieme Verlag
10. Hnatkova K, Malik M (1999) "Optimum" formulae for heart rate correction of the QT Interval. Pace 22: 1683-1687
11. 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
12. Kawataki M, Kashima T, Toda H, Tanaka H (1984) Relation between QT Interval and heart rate. Applications and limitations of Bazett's formular. J. Electrocardiology 17(4): 371-376
13. Kligfield P, Lax K, Okin P (1996) QT - Interval - Heart Rate Relation during exercise in normal men and women: Definition by linear Regression analysis J Am Coll Cardiol 28: 1547 - 1555
14. McPherson D, Horacek M, Sutherland D, Armstrong C, Spencer C, Montague T (1985) Exercise Electrocardiographic Mapping in normal subjects. J. Electrocardiology 18(4): 351 - 360
15. Sarma J, Venkataraman K, Samant D, Gadgil U (1988) Effect of propranolol on the QT intervals of normal individuals during exercise: a new methode for studying interventions. Br Heart J 60: 434 - 439
16. Viitasalo M, Ravoma L, Toivonen L, Pesonen E, Heikkilä J (1996) Dynamics of the QT interval during and after exercise in healthy children, Eur Heart J 17: 1723-1728

Korrespondenzadresse: Prof. Dr. med. M.W. Busse
Universität Leipzig
Institut für Sportmedizin
Marschner Str. 29
04109 Leipzig
busse@uni-leipzig.de