

EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

II. PQ-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung

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

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

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

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

Zusammenfassung

Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S. PQ-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2004, 5 (2):45-49.*

Einleitung: Für die klinische Diagnostik wird zur Beurteilung der maximalen Normwerte der Erregungsüberleitungszeit u.a. auf die Werte von Lepeschkin (PQ_L) für den Bezug von Herzfrequenz und PQ-Zeit zurückgegriffen. Dabei wird die PQ-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 ± 15,62 Jahre) ohne gesundheitliche Einschränkungen wurden in einem doppelten stufenförmig ansteigenden Halbliegeergometertest belastet. Zur Auswertung der PQ-Zeit dienten die Frank-Ableitungen X,

Y und Z. Untersucht wurden die Variablen zu 0% - 100% der Maximalleistung in 10%-Stufen und in den Pausen nach der 1., 3. und 5. Minute.

Ergebnisse:

1. Die bekannte Beziehung zwischen Herzfrequenz und PQ-Zeit gilt unmittelbar nach submaximaler Belastung nicht. Die weitere Verkürzung der PQ-Zeit bei gleichzeitigem Abfall der Herzfrequenz macht die PQ-Zeit als direkte abhängige Variable der Herzfrequenz für diese Bedingungen fraglich.
2. Die berechnete PQ-Zeit unterscheidet sich während Belastung signifikant von der gemessenen PQ-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 PQ-Zeit gilt unter körperlicher Belastung nur eingeschränkt bzw. nicht.

Schlüsselwörter: PQ-Zeit, Herzfrequenz, körperliche Belastung

Abstract

Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S. PQ-interval and heart rate during and after exercise tests. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2004, 5 (2):45-49.*

Objective: The well known inverse relationship between PQ-interval shortening and heart rate increase (PQ-HR) is used in clinical diagnostics. It is based on the assumption that the PQ-interval is a dependent variable of the heart rate. This inverse relationship was checked during and after a maximum treadmill exercise test. 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 PQ-interval, heart rate and PQ-HR calculated from heart rate were examined in 40 healthy subjects (28 men, 12 women, age 33 ± 16 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 PQ-Interval and heart rate does not yield in the 1st minute after high intensity workload. In the 1st minute the PQ-Interval is still shortening while the heart rate falls. Thus the PQ-interval may not depend on heart rate during these conditions.
2. The measured PQ-Interval differs significantly from the PQ-HR during exercise at medium and high heart rates (130/min, 140/min, 150/min, 160/min, 170/min) (p<0,001)

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

Keywords: PQ-interval, heart rate, exercise test

Einleitung

Das Belastungs-EKG stellt ein etabliertes Verfahren für die klinische Diagnostik dar. Dabei wurde immer wieder der

Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und den verschiedenen EKG-Parametern untersucht [1,4,5,7]. Aus

den daraus gewonnenen Erkenntnissen über einen umgekehrt proportionalen Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der PQ-Zeit, entwickelte man Normalwerte, wie sie z.B. auf der Mehrzahl der üblichen EKG-Lineale angegeben sind [3,4,6].

Neuere Untersuchungen überprüften einen gewissen kardialen-„Memory“-Effekt im AV-Knoten für Belastung und Erholung („the AV nodal cells could show a form of cardiac memory, which could be exposed during the recovery phase after controlled maximal exercise...“), so daß es

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), PQ-Zeit und berechneter PQ-Zeit entsprechend der Gleichung $[PQ_L = (-1 \cdot HF) + 260]$ [4] wurden, beginnend mit dem Ruhewert vor Belastung, am Ende jeder dritten Belastungsminute sowie

neben der Herzfrequenz noch weitere Einflußgrößen auf die Erregungsüberleitungszeit gibt [6].

Trotz zahlreicher Veröffentlichungen existieren keine systematischen Untersuchungen zur PQ-Zeit in Abhängigkeit von der relativen körperlichen Belastung. In der vorliegenden Studie wird daher der Zusammenhang zwischen der PQ-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.

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 angelegt. Zur Erfassung der Daten diente die Ableitungen X, Y und Z. Aufgrund des dreidimensionalen Charakters des Frank-EKGs wurde die PQ-Zeit beginnend mit der frühesten P-Welle sowie dem Beginn des letzten QRS-Komplex bestimmt [2].

Ergebnisse

In Abb. 2 sind berechnete und gemessene PQ-Zeit sowie die Herzfrequenz (HF) im Verhältnis zur relativen Belastung dargestellt. Die Gruppen (berechnete und gemessene PQ-Werte) unterscheiden sich in ihrem Verhalten über die Zeit insgesamt signifikant ($p < 0.001$). Besonders auffällig ist die unmittelbare Nachbelastungsphase (Abbruch und Pause). In der 1. Nachbelastungs-

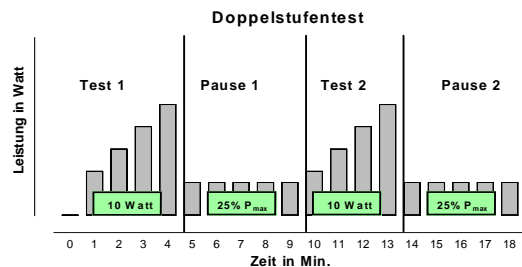


Abbildung 1: Untersuchungsdesign Doppelstufentest

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

minute verkürzt sich die PQ-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 PQ-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 PQ-Zeit ist in Test 2 allenfalls tendenziell kürzer als in Test 1 (Abb. 4 a, b). In Abb. 5 a, b ist die gemessene

und berechnete PQ-Zeit in Abhängigkeit von der Hf unter Belastung dargestellt.

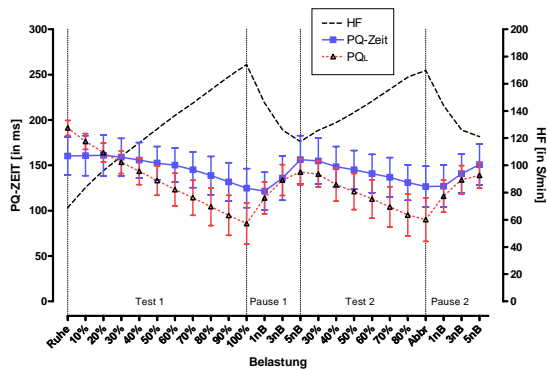


Abbildung 2: PQ-Zeit gemessen (blau) (MW, SD), PQ-Zeit berechnet (rot) (MW, SD) und die Herzfrequenz (schwarz) während und nach Belastung.

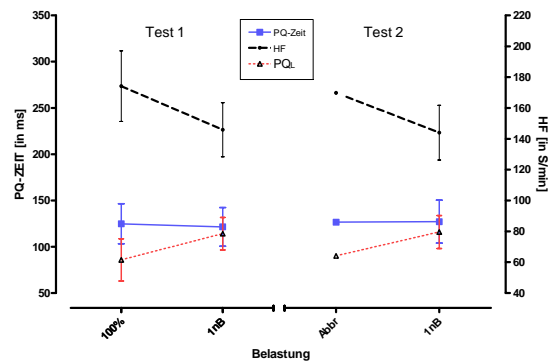


Abbildung 3: PQ-Zeit gemessen (blau) (MW, SD), PQ_L-Zeit berechnet (rot) (MW, SD) und die Herzfrequenz (schwarz) im Übergang von Maximaler Belastung

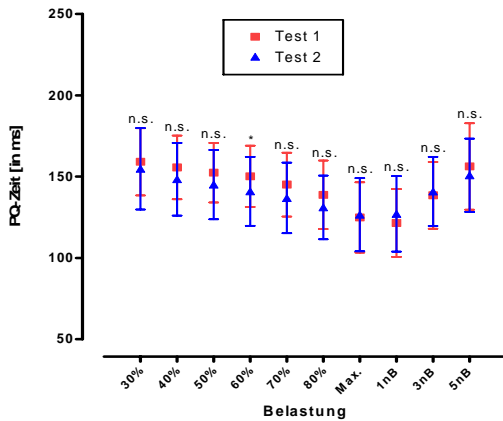


Abbildung 4a: Veränderungen der gemessenen PQ-Zeit von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

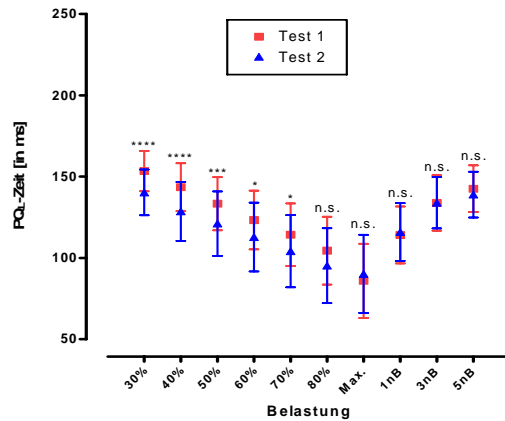


Abbildung 4b: Veränderungen der berechneten PQ_L-Zeit von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

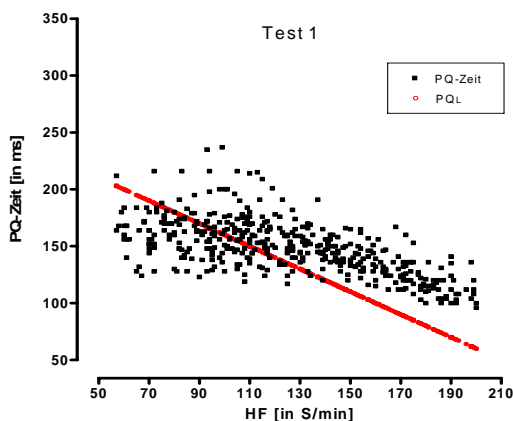


Abbildung 5a: Die gemessene PQ-Zeit (schwarz) und die berechnete PQ-Zeit (rot, MW) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

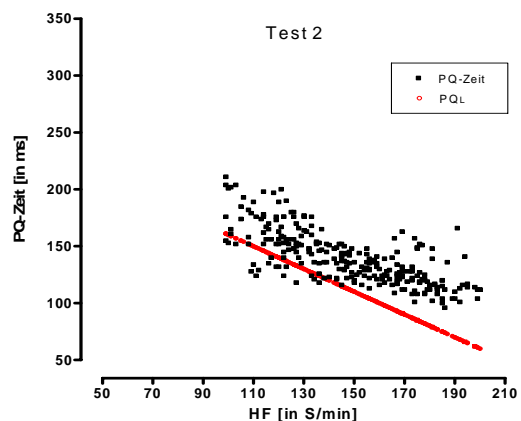


Abbildung 5b: Die gemessenen PQ-Zeit (schwarz) und die berechnete PQ-Zeit (rot, MW) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

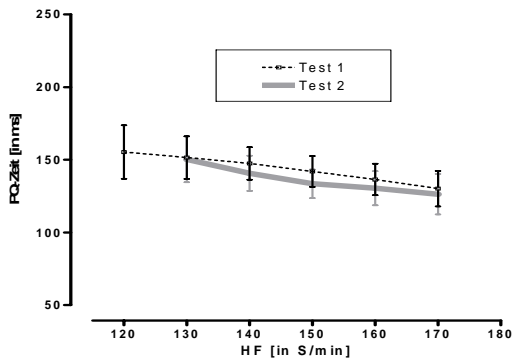


Abbildung 6: Die PQ-Zeit (schwarz, MW + SD) aus Test 1 und die PQ-Zeit (grau, MW + SD) aus Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

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

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

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

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

Insgesamt liegen hier die gemessenen PQ-Zeiten etwas höher als die berechneten Werte (Abb. 9 a,b).

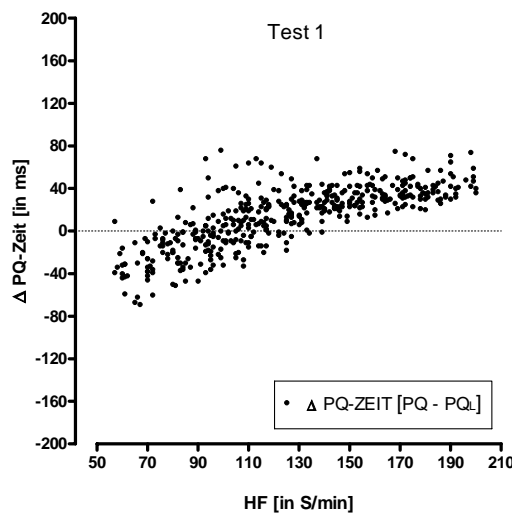


Abbildung 7a: Differenz Δ PQ-Zeit (PQ-PQ_L) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

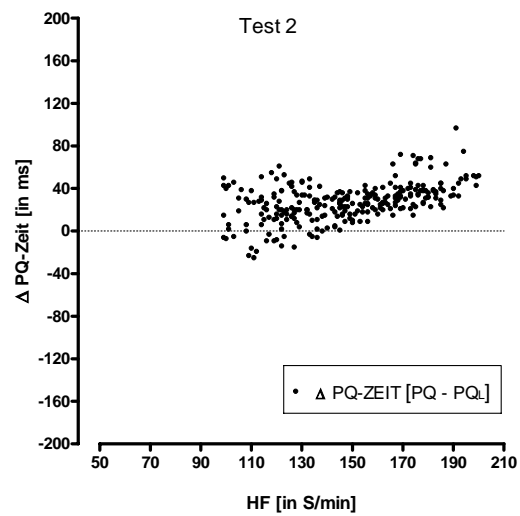


Abbildung 7b: Differenz Δ PQ-Zeit (PQ-PQ_L) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

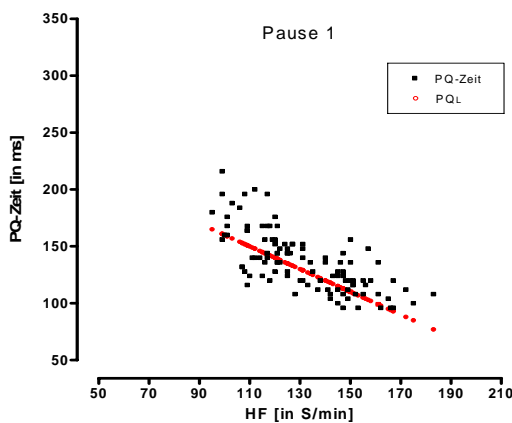


Abbildung 8a: Die gemessenen PQ-Zeit (schwarz) und die berechnete PQ-Zeit (rot, MW) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

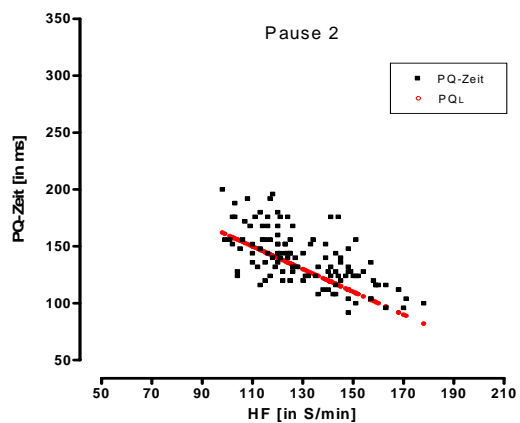


Abbildung 8b: Die gemessenen PQ-Zeit (schwarz) und die berechnete PQ-Zeit (rot, MW) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

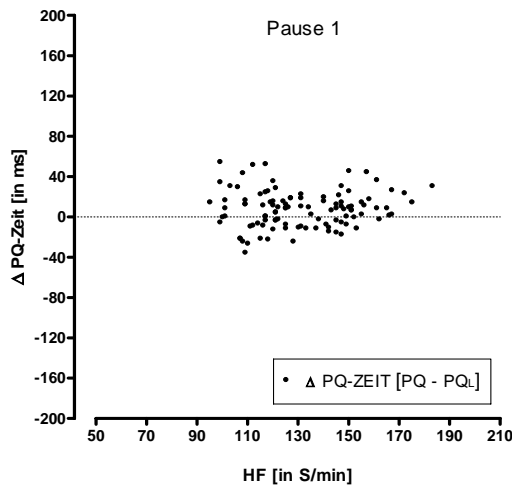


Abbildung 9a: Differenz Δ PQ-Zeit ($PQ - PQ_L$) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

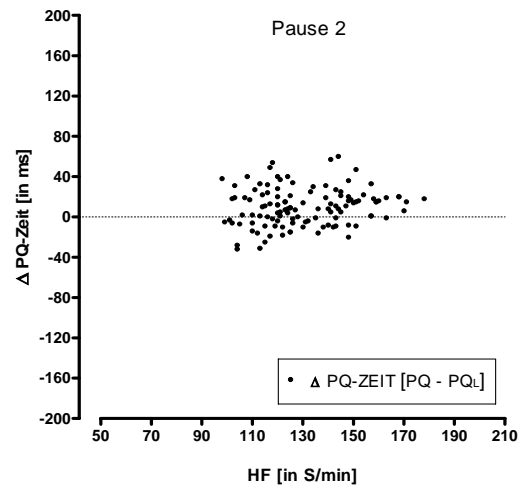


Abbildung 9b: Differenz Δ PQ-Zeit ($PQ - PQ_L$) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

Diskussion

Auffälligste Ergebnisse sind die eher nicht lineare Beziehung zwischen HF und PQ-Zeit (s. Abb. 2) sowie eine Umkehrung der üblichen Beziehung zwischen HR und PQ-Zeit im Übergang von maximaler Belastung zur Erholung. So betrug die PQ-Zeit Verkürzung innerhalb der 1. Nachbelastungsminute 4 ms (HF-Abfall dabei 29 Schläge), laut der üblichen Formel wäre jedoch eine PQ-Zeit Verlängerung von 29 ms zu erwarten gewesen. Dieser Befund war im Prinzip in zwei aufeinanderfolgenden Belastungstests reproduzierbar. Diese Dissoziation des üblichen Verhältnisses von HF und PQ-Zeit nach Belastung ist uns aus der Literatur nicht bekannt. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, daß in entsprechenden Untersuchungen die PQ-Zeit gegen die Herzfrequenz abgetragen wird, nicht dagegen beide Parameter gegen die Zeit. So wird der Übergang von Belastung zur unmittelbaren Nachbelastungsphase nicht erfasst.

Bei körperlicher Belastung vor und nach β -Blockade fand sich eine Verlängerung der PQ-Zeit für gegebene Herzfrequenzen [1]. Grundsätzlich ist auch hier erkennbar, daß die PQ-Zeit unter bestimmten Bedingungen nicht fest an die Herzfrequenz gekoppelt ist. Eine zumindest scheinbare Entkopplung wie in der aktuellen Studie ist allerdings auch diesen Befunden nicht zu entnehmen. Letztlich ist aus der uns bekannten Literatur keine unmittelbare Erklärung für das beobachtete Phänomen zu entnehmen. Umfangreiche Untersuchungen mit Modifikationen des Sympathikotonus unter Belastung werden erforderlich sein, um hier zu weiteren Aussagen zu kommen.

Aus den Ergebnissen ist abzuleiten, daß Berechnungsformeln für PQ aus der Herzfrequenz unmittelbar nach hoher Belastung nicht geeignet sind.

Literatur

1. Atterhög J, Loogna E (1977) P-R interval in relation to heart rate during exercise and the influence of posture and autonomic tone. *Journal of Electrocardiology* 10 (4): 331 – 336
2. Heinecker, Gonska (1992) EKG in Klinik und Praxis. Stuttgart: Thieme Verlag
3. Klinge R (1997) Das Elektrokardiogramm. Stuttgart: Thieme Verlag
4. Lipeschkin E (1951) *Modern Electrocardiography* (vol 1). The P-Q-R-S-T-U Complex. Williams and Wilkins, Baltimore, p 150
5. 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
6. Moleiro F, Misticchio F, Mendoza I, Rodriguez A, Castellanos A, Myerburg R (2001) Paradoxical Behavior of PR Interval Dynamics During Exercise and Recovery and its Relationship to Cardiac Memory at the Atrioventricular Node. *Journal of Electrocardiology* 34 (1), 31-34
7. Simoons M, Hugenholtz P (1975) Gradual changes of ECG waveform during and after exercise in normal subjects. *Circulation* 52: 570 – 577

Korrespondenzadresse:

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