

## EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

### III. P-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung

Busse M<sup>1</sup>, Nißing A, Tegtbur U<sup>2</sup>, Miltzow S, Thomas M<sup>3</sup>, Fikenzer S<sup>1</sup>

Institut für Sportmedizin/Sportmedizinische Ambulanz und Rehabilitationszentrum der Universität Leipzig<sup>1</sup> (Direktor: Prof. Dr. med. M. W. Busse)

Sportmedizinisches Zentrum der Med. Hochschule Hannover<sup>2</sup> (Direktor: PD Dr. med. U. Tegtbur)

Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universität Leipzig<sup>3</sup> (Direktor: Prof. Dr. med. G. von Salis-Soglio)

#### Zusammenfassung

Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S. P-Dauer und Herzfrequenz bei Belastung. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2004, 5(3):50-54.*

**Einleitung:** Für die klinische Beurteilung der Normalwerte der Erregungsausbreitungs- und -überleitungszeit, von den Vorhöfen zu den Kammern, wird auf bekannte Formeln zurückgegriffen. Dabei wird die gesamte PQ-Zeit betrachtet. Belastungsbegleitende Veränderungen des Teilintervalls (P-Dauer) sind in der Literatur wenig beachtet. Die vorliegende Studie überprüft ob die P-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 ± 15,62 Jahre) ohne gesundheitliche Einschränkungen wurden in einem doppelten stufenförmig ansteigenden Halbliegeergometerstest belastet. Zur Aus-

wertung der P-Dauer 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:

- Eine lineare Beziehung von Herzfrequenz und P-Dauer besteht bei leichter bis mittlerer Belastung nicht.
- Die weitere Verkürzung der P-Dauer bei gleichzeitigem Abfall der Herzfrequenz unmittelbar nach Belastung macht die P-Dauer als direkte abhängige Variable der Herzfrequenz für diese Bedingungen fraglich.

**Fazit:** Eine Beziehung zwischen Herzfrequenz und P-Dauer gilt unter körperlicher Belastung nur eingeschränkt bzw. nicht. Für Herzfrequenz und P-Dauer besteht demnach nicht zwingend ein Ursache-Wirkungsprinzip.

**Schlüsselwörter:** P-Dauer, Herzfrequenz, körperliche Belastung

#### Abstract

Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S. P-wave and heart rate during and after exercise tests. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2004, 5(3):50-54.*

**Objective:** An inverse relationship between PQ-interval shortening and heart rate increase (PQ-HR) is well known. The PQ-Interval is seen as a depending variable of the heart rate. The P-wave shortening during exercise in relation to heart rate is rarely investigated. The present study examines the P-wave and heart rate relationship 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 P-wave and heart rate were examined in 40 healthy subjects (28 men, 12 women, age 33,28 ± 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 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> minute.

#### Results:

- There is no linear relationship between P-wave changes and heart rate during light and moderately intense exercise.
- In the 1<sup>st</sup> minute after maximum exercise the P-wave is shortening while the heart rate decreases. Thus the P-wave may not depend on heart rate during these conditions.

**Conclusion:** A relationship between P-wave duration and heart rate does not yield during all conditions. Possibly no causal interrelationship exists.

**Keywords:** P-wave, heart rate, exercise test

#### Einleitung

Trotz einiger Veröffentlichungen existieren nur wenige systematische Untersuchungen zur P-Dauer in

Abhängigkeit von der relativen körperlichen Belastung [3,5,6].

In der vorliegenden Studie wird der Zusammenhang zwischen P-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 P-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 dienen die Ableitungen X, Y und Z. Aufgrund des dreidimensionalen Charakters des Frank-EKGs wurde die P-Dauer beginnend mit der frühesten P-Welle einer Ableitung sowie dem Ende der letzten P-Welle einer anderen Ableitung bestimmt [4].

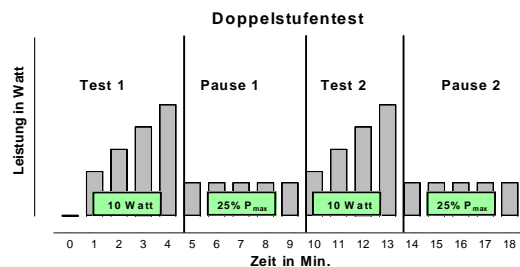


Abbildung 1: Untersuchungsdesign Doppelstufentest

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

## Ergebnisse

In Abb. 2 sind die gemessene P-Dauer sowie die Herzfrequenz (HF) im Verhältnis zur relativen Belastung dargestellt. Bei 85% der untersuchten Probanden war hierbei eine Besonderheit der Beziehung zwischen relativer Leistung und P-Dauer erkennbar. Während bei leichter bis mittlerer Belastung nahezu keine Veränderung der P-Dauer auftrat, kam es ab 63,5 % ( $\pm 11$  %) der Maximalleistung zu einer deutlichen Verkürzung der P-Dauer. Diese Belastung entsprach ca. 80% der maximalen Herzfrequenz.

Besonders auffällig war weiterhin die unmittelbare Nachbelastungsphase (Abbruch und Pause). In der 1. Nachbelastungsminute verkürzte sich die P-Dauer

signifikant ( $p < 0,001$ ) um 3ms, während im gleichen Zeitraum die Hf gleichfalls signifikant ( $p < 0,001$ ) um 27 Schläge/min abfiel (Abb. 3). Die unmittelbare Reproduzierbarkeit des Verhältnisses von Belastung zur P-Dauer ist in Abb. 4 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 P-Dauer unterscheidet sich in Test 1 und Test 2 praktisch nicht. (Abb. 4). Abb. 5 zeigt zugleich, dass das Verhältnis von P-Dauer und Hf unmittelbar reproduzierbar ist.

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

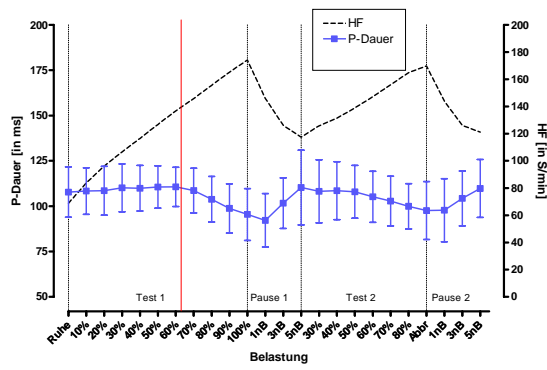


Abbildung 2: P-Dauer (blau) (MW, SD) und Herzfrequenz (schwarz) während und nach Belastung. Die rote Vertikallinie bezeichnet eine deutliche Verkürzung der P-Dauer ab 63% Wmax.

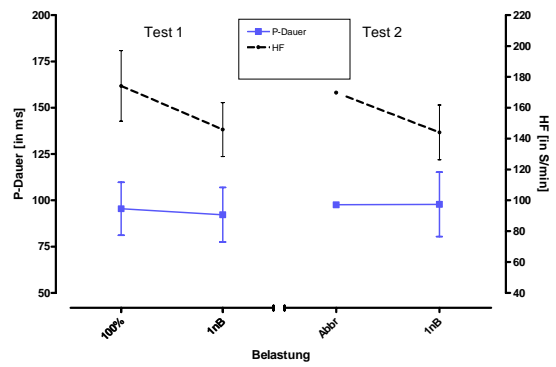


Abbildung 3: P-Dauer (blau) (MW, SD) und Herzfrequenz (schwarz) im Übergang von Maximaler Belastung und Erholung.

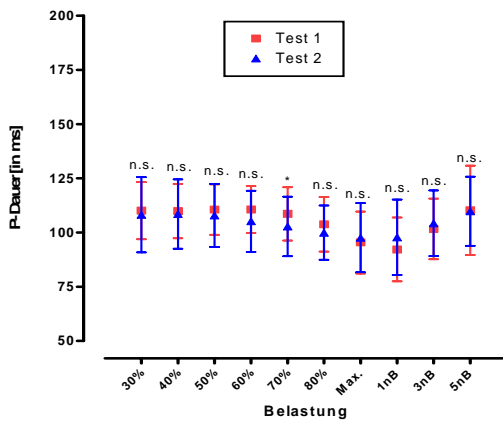


Abbildung 4: Veränderungen der gemessenen P-Dauer von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

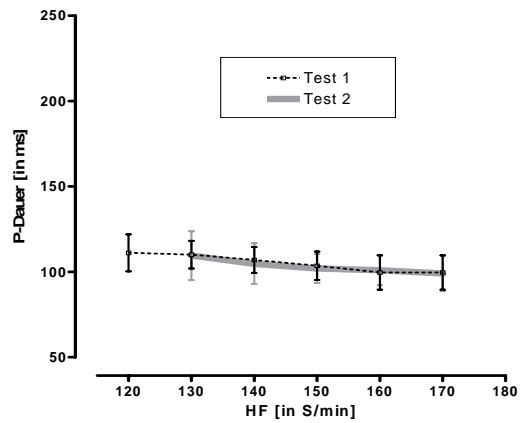


Abbildung 5: Die P-Dauer (schwarz, MW + SD) aus Test 1 und die P-Dauer (grau, MW + SD) aus Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

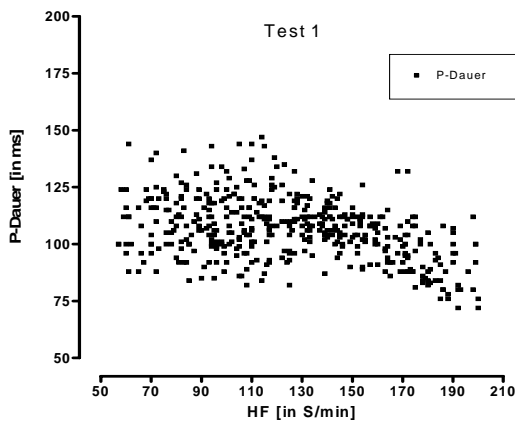


Abbildung 6a: P-Dauer (schwarz) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

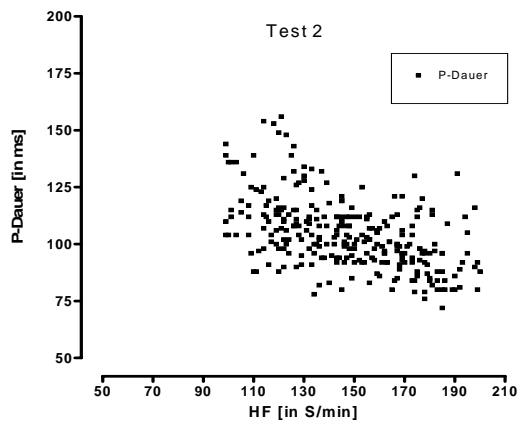


Abbildung 6b: P-Dauer (schwarz) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

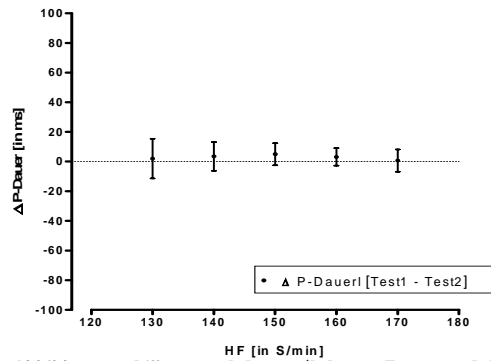


Abbildung 7: Differenz  $\Delta$ P-Dauer (P-Dauer Test 1 – P-Dauer Test 2) in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

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

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

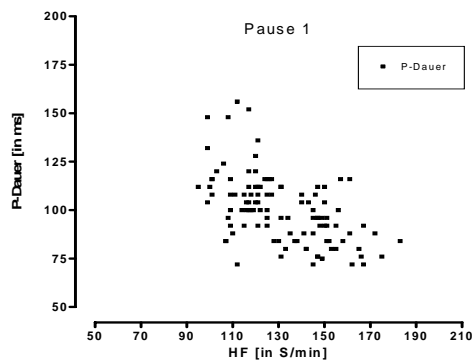


Abbildung 8a: P-Dauer (schwarz) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

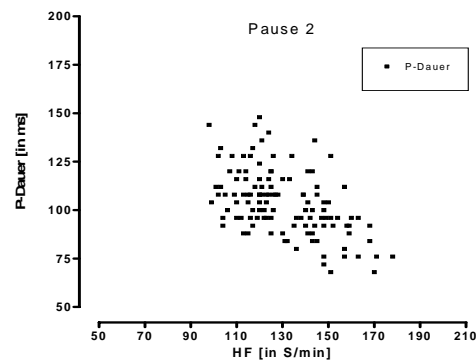


Abbildung 8b: P-Dauer (schwarz) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen in zwei Punkten, daß unter Belastung keine Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen P-Dauer und Herzfrequenz besteht.

1. Bei leichter und mittlerer Belastung verkürzt sich die P-Dauer praktisch nicht bei zugleich zunehmender Herzfrequenz. Erst bei zunehmend intensiver Belastung im Bereich der „anaeroben Schwelle“ kommt es bei 85% der Probanden zu einer deutlichen Verkürzung der P-Dauer. Eine grundsätzlich lineare Beziehung zwischen P-Dauer und Herzfrequenz wird hier nicht deutlich.
2. In der ersten Nachbelastungsminute kommt es zu einem Abfall der Herzfrequenz um 27/min, während sich die P-Dauer im Mittel um 3 ms weiter verkürzt. Hier wird demnach sogar eine Umkehrung der üblicherweise inversen Beziehung zwischen Herzfrequenz und P-Dauer erkennbar.

Eine Erklärung dieser Ergebnisse ist aus den vorliegenden Daten und der uns bekannten Literatur [3,5,6] 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 P-Dauer und auch andere EKG-Parameter [1,2] in der ersten Nachbelastungsminute weiter. Eine Schlussfolgerung hieraus wäre, daß zwar zumindest das Präpotential des Sinusknotens durch die Katecholaminkonzentration beeinflusst wird, während die Erregungsvorgänge am Vorhofmyokard prioritiv anders reguliert werden.

## Literatur

- 1.) Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S (2004) QT-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung. KCS 5: 39-44
- 2.) Busse M, Nißing A, Tegtbur U, Miltzow S, Thomas M, Fikenzer S (2004) PQ-Zeit und Herzfrequenz bei Belastung. KCS 5: 45-49
- 3.) Cheema A, Ahmed M, Kadish A, Goldberger J (1995) Effects of autonomic stimulation and blockade on signal-averaged P wave duration. JAAC 26 (2): 497-502
- 4.) Heinecker und Gonska: EKG in Klinik und Praxis, Stuttgart: Thieme Verlag, 1992.

- 5.) Myriantefs M, Ellestad M, Start-Selvester R, Crump R (1991) Significance of signal-averaged P-Wave changes during exercise in patient with coronary artery disease and correlation with angiographic findings. Am J Cardiol 68: 1619-1624
- 6.) Pandya A, Ellestad M, Crump R (1996) Time course in P-Wave duration during exercise. Cardiology 87: 343-346

**Korrespondenzadresse:**

Prof. Dr. med. M.W. Busse  
Universität Leipzig  
Institut für Sportmedizin  
Marschner Str. 29  
04109 Leipzig  
[busse@uni-leipzig.de](mailto:busse@uni-leipzig.de)