

## EKG-Parameter und Herzfrequenz bei Belastung

### VIII. P-Vektor-Magnitude (P-VM) und Herzfrequenz bei Belastung

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

Fikenzer S, Nißing A, Tegtbur U, Thomas M, Busse M. P-VM und Herzfrequenz bei Belastung. *Klinische Sportmedizin/ Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2005, 6 (3):46-50.*

**Einleitung:** Die vorliegende Arbeit überprüft die Veränderungen des P-VM (Vorhoferregungspotential) während und nach Belastung. Dabei wird überprüft, ob der P-VM 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 Halbliegeergometertest belastet. Zur Auswertung der P-VM 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:

- P-VM vergrößert sich linear belastungsproportional im Mittel bis ca. 70% von Pmax, bei starker individueller Streuung.
- Bei mittlerer bis intensiver Belastung stagniert dieser Anstieg.
- Bis zur dritten Nachbelastungsminute kommt es zu einem deutlichen weiteren Anstieg von P-VM
- Bei der 2. Stufenbelastung fällt P-VM bis 50% Pmax zunächst ab; in der Folge ist das weitere Verhalten mit Test 1 nahezu identisch.

**Schlüsselwörter:** P-VM, VKG, 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 (3):46-50.*

**Objective:** The present study examines the relationship between P-VM 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 P-VM 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 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> minute.

#### Results:

- P-VM increases linearly in relation to work load until about ca. 70% of Pmax, with a marked interindividual range.
- During medium to intense exercise there is no further increase.
- From the end of work until the third recovery minute P-VM again increases markedly.
- During the second exercise period P-VM initially decreases until 50% Pmax. The further trend almost equals Test 1.

**Keywords:** P-VM, VCG, heart rate, exercise test

---

#### Einleitung

Es ist bekannt, dass Belastung zu Veränderungen des räumlichen Vektors der P-Welle (1, 2, 3, 4) führt. Die systematische Untersuchung des P-VM während und nach definierter Belastung wurde dabei weniger untersucht. Da dieser Summationsvektor das Verhalten des Gesamtpotentials der Vorhoferregung darstellt, ist diese Frage von grundsätzlichem Interesse. Dies gilt insbesondere auch in Hinblick auf eine mögliche klinische Relevanz. In der

vorliegenden Studie wird der Zusammenhang zwischen P-VM und Herzfrequenz zu verschiedenen Zeitpunkten vor, während und nach Belastung überprüft. Weiterhin wird durch wiederholte, unmittelbar aufeinander folgende Belastungen die unmittelbare Reproduzierbarkeit der Ergebnisse untersucht.

## Methodik

### Untersuchungsgruppe:

40 gesunde Probanden (Tab.1) wurden im Rahmen einer routinemäßigen Leistungsdiagnostik auf einem Halb- liegendergometer (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) und P-VM 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. Der P-VM wurde nach der Formel  $(P-VM = [P_x^2 + P_y^2 + P_z^2]^{1/2})$  berechnet.

Die Ergebnisse werden als Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Stabw) angegeben. Die

## Ergebnisse

In Abb. 2 ist der gemessene P-VM sowie die Herzfrequenz (HF) im Verhältnis zur relativen Belastung dargestellt. Besonders auffällig ist, dass sich vom Zeitpunkt der Ruhe bis 70% der maximalen Belastung der P-VM im Mittel um 95,02 µV signifikant ( $p < 0,0001$ ) vergrößert. Ein weiterer Belastungsanstieg führt zu keiner weiteren signifikanten Vergrößerung des P-VM ( $p = 0,55$ ).

Besonders charakteristisch ist auch die signifikante ( $p < 0,01$ ) Vergrößerung des P-VM im Mittel um 48,55 µV bis zur 3. Nachbelastungsminute, während im gleichen Zeitraum die Hf gleichfalls signifikant ( $p < 0,001$ ) um 48 Schläge/min abfällt (Abb. 3)

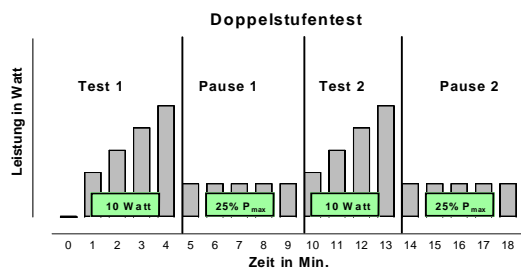


Abbildung 1: Untersuchungsdesign Doppelstufentest

Signifikanz von Unterschieden wird mittels einer Varianzanalyse für Messwiederholungen berechnet. Signifikanzangaben:  $p < 0,05$ : \*,  $p < 0,01$ : \*\*,  $p < 0,005$ : \*\*\*,  $p < 0,001$ : \*\*\*\*

Die unmittelbare Reproduzierbarkeit des Verhältnisses von Belastung zum P-VM ist in Abb. 4 verdeutlicht. Der P-VM ist bei leichter bis mittlerer Belastung in Test 2 zunächst signifikant größer als in Test 1 (Abb. 4). In Test 2 ist die Hf bei Belastungsbeginn und leichter Belastung bis 50% Pmax erkennbar um 13 S/min höher als in Test 1.

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

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

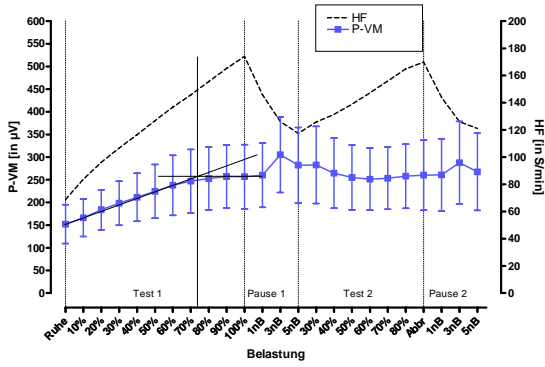


Abbildung 2: P-VM (ms, blau, MW ± SD) und Herzfrequenz (s/min, schwarz) während und nach Belastung. (Schwarze Linien: Konstruktion der Abweichung vom linearen Anstieg des P-VM).

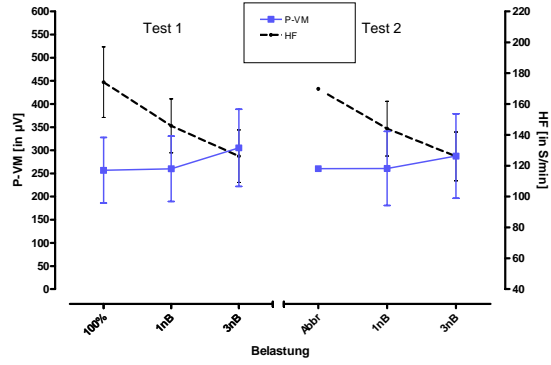


Abbildung 3: P-VM (ms, blau, MW ± SD) und Herzfrequenz (s/min, schwarz) im Übergang von Maximaler Belastung und Erholung.

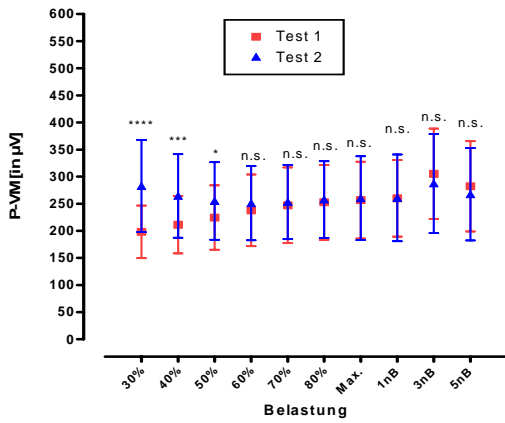


Abbildung 4: Veränderungen des gemessenen P-VM von Test 1 (rot) und von Test 2 (blau) während und nach Belastung

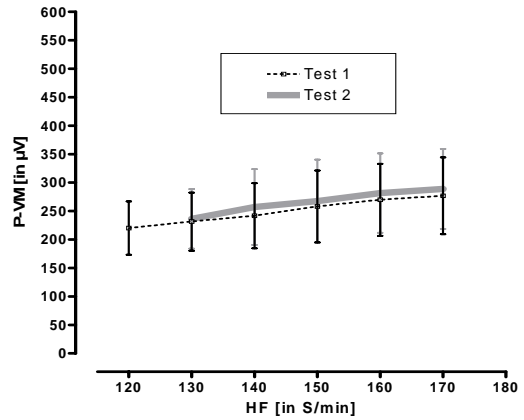


Abbildung 5: Der P-VM (ms, schwarz, MW ± SD) aus Test 1 und der P-VM (ms, grau, MW ± SD) in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

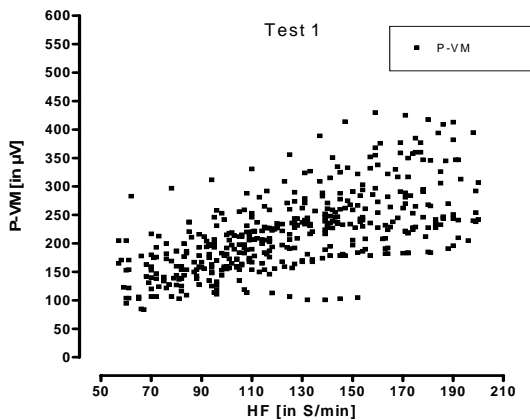


Abbildung 6a: P-VM (ms, schwarz) während Test 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

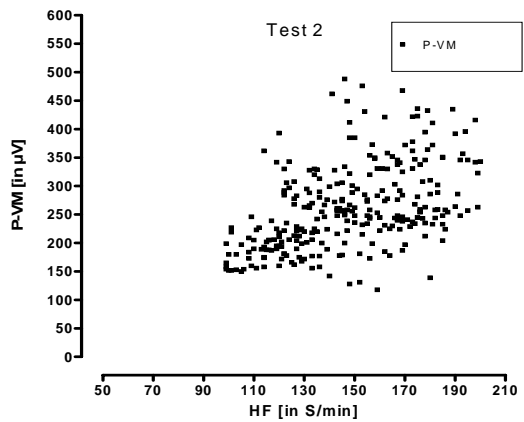


Abbildung 6b: P-VM (ms, schwarz) während Test 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

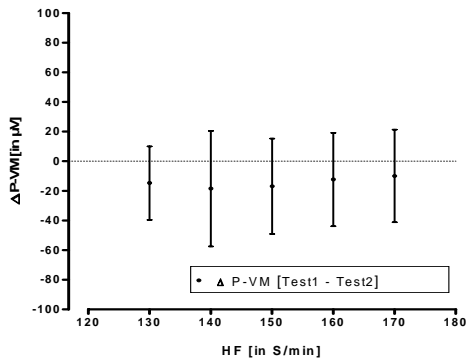


Abbildung 7: Differenz  $\Delta$ P-VM (ms) (P-VM Test 1 – P-VM Test 2) in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

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

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

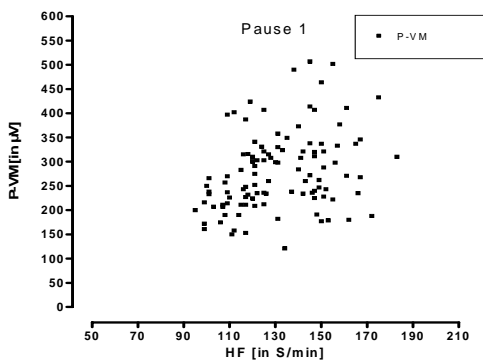


Abbildung 8a: P-VM (ms, schwarz) während Pause 1 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

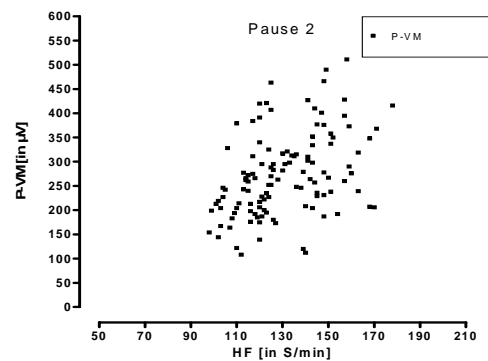


Abbildung 8b: P-VM (ms, schwarz) während Pause 2 in Abhängigkeit zur Herzfrequenz.

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass es unter Belastung zu einer Vergrößerung des P-VM im Mittel bis etwa 70% der maximalen Leistung kommt. Dies wird durch die Ergebnisse der Literatur gestützt (1,2,3,4). Die anschließende Stagnation des P-VM bis zum Belastungsabbruch ist uns aus der Literatur nicht bekannt. Eine weitere Vergrößerung des P-VM ist in der Literatur nur in Relation zur Herzfrequenz in der ersten Nachbelastungsminute beschrieben (2,4). Eine Verkleinerung des P-VM in den weiteren Nachbelastungsminuten kann durch diese Arbeit im Gegensatz zu (2) nicht bestätigt werden.

In der vorliegenden Arbeit tritt im Übergang von mittlerer bis intensiver Belastung eine Stagnation im Anstieg des P-VM ein. Dieser Befund war im Prinzip in zwei aufeinanderfolgenden Belastungstests reproduzierbar. Dies gilt ebenfalls für das Verhalten des P-VM in der Nachbelastungsphase.

Ein möglicher Zusammenhang von HF und P-VM wie er in der Literatur beschrieben wird, bleibt fraglich. Eine Erklärung dieser Ergebnisse ist aus den vorliegenden Daten nicht möglich.

Die vorliegenden Befunde müssen zunächst durch weitere Untersuchungen vertieft werden.

## Literatur

- 1.) Deckers JW, Vinke RvH, Vos JR, Simoons ML (1990) Changes in the electrocardiographic response to exercise in healthy women. *Br Heart J.* 64 (6) :376-80
- 2.) Myrianthefs 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
- 3.) Rautaharju PM, Punsar S, Blackburn H, Warren J, Menotti A (1973) Waveform patterns in frank-lead rest and exercise electrocardiograms of healthy elderly men. *Circulation* 48: 541-548

- 4.) Simoons ML, Hugenholtz PG (1975) Gradual exercise in normal subjects. Circulation 52: 570-577  
changes of ECG waveforms during and after

**Korrespondenzadresse:** Dipl.Sportl. S.Fikenzer  
Institut für Sportmedizin der Universität Leipzig  
Marschnerstrasse 29  
D-04109 Leipzig,  
E-Mail: [sven.fikenzer@uni-leipzig.de](mailto:sven.fikenzer@uni-leipzig.de)