

Präv Gesundheitsf 2023 · 18:267–273
<https://doi.org/10.1007/s11553-022-00947-z>
 Eingegangen: 19. Dezember 2021
 Angenommen: 10. April 2022
 Online publiziert: 6. Mai 2022
 © Der/die Autor(en) 2022



Alexander Frühauf¹ · Joachim Kugler¹ · Silvia Spitzer² · Reingard Seibt³

¹ Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Lehrstuhl für Gesundheitswissenschaften/Public Health, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

² Arbeitsgruppe Wissen-Denken-Handeln, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

³ Institut für Präventivmedizin (IPM), Universitätsmedizin Rostock, Rostock, Deutschland

Messung der kardiorespiratorischen Fitness mit unterschiedlichen Kurzbelastungstests

Hinführung

Herz-Kreislauf-Erkrankungen (HKE) zählen zu den häufigsten Krankheiten [25]. Eingeschränkte kardiorespiratorische Fitness (CRF) gilt als ein Risikofaktor für die Entwicklung dieser Erkrankungen. Durch die Bestimmung der CRF lässt sich das Risiko für eingeschränkte kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit abschätzen [16, 17, 20]. Standardmäßig wird die CRF anhand der Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme VO_{2max} mittels Spiroergometrie unter körperlicher Ausbelastung bestimmt [26]. Alternativ können durch submaximale Belastungstests wie das Belastungs-Elektrokardiogramm (B-EKG, Fahrradergometrie) vergleichbare Ergebnisse erhalten werden [8, 11, 22]. Da es sich hier jedoch weiterhin um ein aufwendiges Testverfahren handelt, wird in dieser Arbeit nach flexibleren und ökonomischeren Alternativen in Form von Kurzbelastungstests gesucht.

Problem- und Zielstellung

Körperliche Inaktivität gilt als ein wichtiger Risikomarker für die Entstehung

Verfügbarkeit der Daten

Der Datensatz darf aufgrund des vereinbarten Datenschutzes gegenüber den Teilnehmern nicht an Dritte weitergegeben werden.

Die Autoren erklären, dass das Manuskript weder veröffentlicht noch zur Veröffentlichung eingereicht wurde.

von HKE und eingeschränktem Wohlbefinden [13, 28]. Der Zusammenhang zwischen kardiorespiratorischer Fitness und Gesundheit soll dabei stärker ausgeprägt sein als zwischen körperlicher Aktivität und Gesundheit [3]. In diesem Kontext kommt der Prävention von HKE ein hoher Stellenwert zu. Da sich Veränderungen des Herz-Kreislauf-Systems relativ früh manifestieren, besteht eine Möglichkeit, präventiv zu agieren, indem das individuelle Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen ermittelt wird.

Als effektive Methode der Risikoermittlung hat sich die Erfassung der CRF herausgestellt. Anhand ihrer Ausprägung können Rückschlüsse auf eingeschränkte kardiorespiratorische Leistungsfähigkeit gezogen werden. Eine gute Fitness stärkt die Resistenz gegenüber negativen gesundheitlichen Einflüssen und vermindert die Wahrscheinlichkeit, ein schwerwiegendes kardiales Ereignis zu erleiden [16, 17]. In der „Aerobics Centre Longitudinal Study“ wiesen die fittesten Teilnehmer gegenüber den am wenigsten fitten Männern und Frauen ein um 47 % bzw. 70 % niedrigeres Risiko für kardiovaskuläre Sterblichkeit auf [2, 18]. Regelmäßiges Training fördert einen gesünderen Lebensstil. Personen, die sich sportlich betätigen, rauchen oft weniger, essen gesünder und erkranken seltener. Sie gehen daher seltener zum Arzt und leben ungefähr sechs Jahre länger als die Vergleichsgruppe [21, 27].

In Deutschland wird zur Untersuchung der CRF neben dem Standard der Spiroergometrie häufig das submaximale B-EKG eingesetzt, da es aufgrund des submaximalen Leistungsansatzes zu weniger kardialen Komplikationen kommt [9, 11]. Im Bereich der arbeitsmedizinischen Vorsorge besteht zusätzlich ein Bedarf an weniger aufwendigen Alternativen. Zwar erfolgten hier bereits Untersuchungen mit verschiedenen Kurzbelastungstests, wie dem Chesterstep-Test [27] oder dem Siconolfi-step-Test [6], allerdings weisen sie auch noch eine Testdauer von ca. 10 min auf. Nach den Ergebnissen von De Andrade et al. [7] werden zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme möglichst kurze Tests empfohlen.

Zusammenfassend besteht gesteigerter Bedarf an diagnostischen Screeningtests zur Früherkennung einer eingeschränkten CRF. Für ihre Ermittlung existieren verschiedene Methoden. So kann sie anhand bestimmter Kennwerte, wie Alter, Geschlecht und körperlicher Aktivität geschätzt [15, 24] oder mittels Belastungstests anhand definierter Belastungskenngrößen bestimmt werden [29]. Daher ist zu definieren, über welche Methode die CRF ermittelt werden soll.

Vor diesem Hintergrund war in dieser Studie zu untersuchen, ob die Fitness kurzer Belastungstests (nachfolgend Kurzttests) mit der des B-EKG vergleichbar ist und eine weitere, ökonomischere Alternative sein kann. Außerdem war

zu klären, ob die Fitness der Kurztests (Kurzergometrie, Steeptest, Kniebeugetest) untereinander vergleichbar ist. Da die Ermittlung der CRF über Belastungstests auf Kenngrößen der Herzschlagfrequenz (Herzfrequenz, Hf) basiert, soll das Hf-Verhalten in diesen Tests vorangestellt werden.

Methodik

Stichprobenrekrutierung

Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen arbeitsmedizinischer Vorsorge und fanden 2013 bis 2014 statt. Es handelt sich um eine lokale Teilstudie eines von der *Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)* initiierten Projekts zur mentalen Gesundheit bei der Arbeit. Die *BAuA* ließ durch das *Institut für angewandte Sozialwissenschaft (Infas)* eine Repräsentativerhebung bei ca. 4500 Arbeitnehmern im Alter zwischen 31 und 60 Jahren durchführen. Als Grundgesamtheit galten alle Beschäftigten, die bis 31. Dezember 2011 mit einer Sozialversicherung bei der *Bundesagentur für Arbeit (BA)* gemeldet waren. Aus dieser Befragung wurde für den Raum Dresden eine Teilstichprobe von 150 Personen zufällig ausgelost, denen eine arbeitsmedizinische Zusatzuntersuchung angeboten werden sollte. 78 von ihnen (36 Frauen, 42 Männer) nahmen das Untersuchungsangebot an (Responserate: 46 %).

Untersuchungsmethoden

Das Vorsorgeprogramm bestand aus Fragebogen, körperlicher Untersuchung, B-EKG, drei Kurztests (Kurzergometrie, Steeptest, Kniebeugetest) sowie einer individuellen Gesundheitsberatung. Dieses Programm umfasste 2 Tage, wobei der 2. Tag zur Durchführung des B-EKG und der Gesundheitsberatung diente. Am 1. Tag lief die Untersuchung immer in der gleichen Reihenfolge ab, nur die Abfolge der Kurztests erfolgte randomisiert.

Der Fragebogen diente der Erhebung soziodemografischer und arbeitsanamnestischen Angaben sowie von Daten zum Gesundheitsverhalten (*sportliche Aktivität, Raucherstatus*). In der kör-

perlichen Untersuchung wurden Körpermaße (BMI, Körperfettanteil etc.) und kardiovaskuläre Messwerte (Hf, Blutdruck etc.) erhoben.

B-EKG

Das B-EKG wurde als standardisierte Fahrradergometrie realisiert und erfolgte computergesteuert nach einem festgelegten submaximalen Protokoll (3 min Vorruhe, Belastungsstufen, 5 min Nachruhe). Die Leistung wurde in dreiminütigem Abstand jeweils um 25 W gesteigert, bis die submaximale Ziel-Hf erreicht war. Begonnen wurde bei Frauen mit 50 W, bei Männern mit 75 W. Bei Überschreiten der Ziel-Hf von mehr als 30 s wurde das Belastungsprogramm beendet.

Die Hf wurde über das gesamte Stufenprogramm kontinuierlich aufgezeichnet. Zusätzlich erfolgte eine Bestimmung der Hf in der 3. min der Vorruhe, jeweils vor dem Wechsel in die höhere Belastungsstufe und in der Nachruhe nach 1, 3 und 5 min. Die submaximale Ziel-Hf wurde nach Löllgen et al. [19] bestimmt: $Hf_{\text{submax}} (\text{min}^{-1}) = 200 - \text{Alter (Jahre)}$.

Kurztests

Bei der Kurzergometrie sollten auf dem Fahrradergometer (Widerstand 150 W) 220 m so schnell wie möglich zurückgelegt, im Steeptest auf einer 25 cm hohen Steppbank mit dem gleichen Bein 25 Steps so schnell wie möglich und im Kniebeugetest 20 Kniebeugen so schnell wie möglich absolviert werden.

Bei diesen Tests wurde die Hf in der 3. min der *Vorruhe*, direkt nach der *Belastung* und 3 min danach (*Erholung*) sowie die Belastungszeit gemessen.

CRF-Ermittlung

Bei allen Belastungstests wurde die Hf zu den oben genannten Zeitpunkten erhoben und die CRF nach der Formel von Wicks et al. [29] ermittelt: $METs = 6 * Hf_{\text{index}} - 5$. MET steht hierbei für metabolisches Äquivalent und Hf_{index} für Hf-Index (Quotient aus maximaler Belastungs-Hf und Ruhe-Hf).

Statistische Analysen

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm *Statistical Package for the Social Science* (Version 27). Mittelwertvergleiche der Variablen (Hf, CRF) zwischen den Belastungstests erfolgten mit einem allgemeinen linearen Modell mit Messwiederholung (ALM). Als Kovariable gingen *Geschlecht, Alter, BMI und Sportstunden/Woche* in die Analysen ein. Es wurden die Haupteffekte der Faktoren und deren Wechselwirkung mit den Kovariablen getestet. Als Effektstärke (ES) wurde partielles η^2 (η^2_{partial}) ermittelt und nach den Konventionen von Cohn [5] interpretiert ($\geq 0,01$ = klein, $\geq 0,06$ = mittel, $\geq 0,14$ = groß). Zur Unterschiedsprüfung zweier Belastungstests dienten t-Tests für verbundene Stichproben; hier wurden die ES als Cohen's d angegeben ($\geq 0,20$ = klein, $\geq 0,50$ = mittel, $\geq 0,80$ = groß; [5]). Das statistische Signifikanzniveau wurde auf $\alpha < 0,05$ festgelegt. Zusammenhänge zwischen den CRF-Werten der Belastungstests wurden über bivariate Korrelationen untersucht. Zu ihrer Interpretation diente die Klassifikation von Bühl [4].

Die statistische Power wurde in einer Post-hoc-Power-Analyse nach Faul et al. [10] ermittelt. Bei einer Effektstärke von $\eta^2 = 0,06$ und $n = 66$ Versuchspersonen beträgt die Power 0,93, um ein signifikantes Ergebnis mit einem ALM ($\alpha = 0,05$) zu erhalten.

Stichprobe

Aufgrund von Kontraindikationen für das B-EKG (ausgeprägte Hypertonie, Rhythmusstörungen, höhergradige Herzinsuffizienz, starke Cox-/Gonarthrose; [19]) und unvollständigen Datensätzen wurden 12 Testpersonen aus den Analysen ausgeschlossen, sodass die Analysestichprobe aus 66 Testpersonen mit einem Altersdurchschnitt von 48 ± 8 Jahren (36 Männer: 30 Frauen) bestand. Das berufliche Tätigkeitsspektrum ist mit dem der Erwerbsbevölkerung vergleichbar.

Bei der Gesamtstichprobe lag der BMI-Mittelwert noch im Normalbereich ($24,8 \pm 3,4 \text{ kg/m}^2$), wobei Frauen im Vergleich zu Männern ($23,7$ vs. $25,6 \text{ kg/m}^2$)

A. Frühauf · J. Kugler · S. Spitzer · R. Seibt

Messung der kardiorespiratorischen Fitness mit unterschiedlichen Kurzbelastungstests

Zusammenfassung

Problem- und Zielstellung. Eingeschränkte kardiorespiratorische Fitness (CRF) gilt als Risikofaktor für die Entwicklung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Häufig erfolgt die CRF-Ermittlung mit dem submaximalen Belastungs-EKG (Fahrradergometrie). Es mangelt an Testverfahren, die ortsunabhängig und ökonomisch als Screeninginstrument zur Früherkennung eingeschränkter CRF einsetzbar sind. Deshalb wurde untersucht, ob auch kurze Belastungstests (nachfolgend Kurztests) eine zuverlässige Aussage zur CRF ermöglichen und eine Alternative zum Belastungs-EKG sein können.

Methodik. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge. Diese bestand aus einem Fragebogen

(u. a. anamnestische, soziodemografische, lebensstilbezogene Angaben), körperlichen Untersuchungen (u. a. Body Mass Index, Herzfrequenz, Blutdruck) und vier Belastungstests (submaximales Belastungs-EKG, Kurztests: Kurzergometrie, Stepp-Test, Kniebeugetest). In die Analysestichprobe gingen 66 Erwerbstätige (30 Frauen, 36 Männer; Durchschnittsalter: 48 Jahre) ein. Die CRF wurde nach der Formel von Wicks et al. (2011) ermittelt.

Ergebnisse. Die CRF war in den Kurztests signifikant geringer als im Belastungs-EKG ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,23$). Mit den Kurztests wurde der submaximale Belastungsbereich nicht erreicht. Die CRF korrelierte zwischen Belastungs-EKG und Kurztests sehr gering

bis gering ($r = 0,16-0,23$). Zwischen den Kurztests bestanden mittlere Korrelationen ($r = 0,54-0,62$). Geschlecht, Alter und Sportstunden/Woche beeinflussen die CRF. **Schlussfolgerung.** Die Kurztests können das Belastungs-EKG nicht ersetzen. Bei ihnen wird nicht die eigentliche CRF ermittelt, sondern eine neu definierte Kurzbelastungsfitness. Ob die Kurzbelastungsfitness Aussagen über das kardiorespiratorische Erkrankungsrisiko ermöglicht, ist weiter zu untersuchen.

Schlüsselwörter

Belastungs-EKG · Fahrradergometrie · Screeningdiagnostik · Prävention · Stepp-Test

Measurement of cardiorespiratory fitness with different short exercise tests

Abstract

Background and objectives. Reduced cardiorespiratory fitness (CRF) is considered a risk factor for developing cardiovascular diseases. Very often CRF is determined with submaximal exercise ECG (bicycle ergometry). There is a lack of test procedures that can be used location-independently and economically as a screening instrument for the early detection of restricted CRF. Therefore, we investigated whether short exercise tests (hereinafter referred to as short tests) also enable a reliable statement about CRF and whether they can be an alternative to exercise ECG.

Methods. The examinations were carried out as part of preventive occupational health care.

They consisted of a questionnaire (including anamnestic, sociodemographic, lifestyle-related information), physical examination (including body mass index, heart rate, blood pressure) and four exercise tests (submaximal exercise ECG, short tests: short ergometry, step test, squat test). In all, 66 employees (30 women, 36 men; average age: 48 years) were included. The CRF was calculated according to the formula of Wicks et al. (2011).

Results. CRF was significantly lower in the short tests than in the exercise ECG ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,23$); the submaximal exposure range was not reached with the short tests. The CRF correlation between exercise ECG and

short tests ($r = 0,16-0,23$) was very low to low. Between the short tests, there were moderate correlations ($r = 0,54-0,62$). Gender, age and exercise hours per week all influence CRF.

Conclusions. The short tests cannot replace the exercise ECG. The short tests do not determine the actual CRF, but a newly defined short-term fitness. Whether the short-term fitness allows statements regarding risk for cardiorespiratory diseases remains to be investigated.

Keywords

Exercise ECG · Bicycle ergometry · Screening · Prevention · Step test

einen signifikant niedrigeren BMI aufwiesen ($p = 0,031$, $d = 0,25$). 55 % der Männer und 39 % der Frauen fielen durch Übergewicht bzw. Adipositas auf.

Die sportliche Aktivität/Woche unterschied sich zwischen Männern und Frauen nicht signifikant ($p = 0,530$). Etwa zwei Drittel (62 %) der Teilnehmer dokumentierten, regelmäßig sportlich aktiv zu sein. Sie absolvierten durchschnittlich 2,2 Sportstunden/Woche, aber 23 % betätigten sich nur selten und 15 % gar nicht sportlich.

Ergebnisse

Herzfrequenz der Belastungstests

Das HF-Verhalten in den Belastungstests wird anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Messzeitpunkte* betrachtet und in einem ALM überprüft, in das die Faktoren *Belastungstest* (B-EKG, ERGO, STEPP, KNIE) und *Messzeitpunkt* (Vorruhe, Belastung, Nachruhe), sowie die *Kovariaten* eingingen.

Aus dem Verlauf der Hf (*Messzeitpunkte*) ist ersichtlich (■ **Abb. 1**), dass

die Hf-Mittelwerte im B-EKG und den Kurztests tendenziell ähnliches Verhalten zeigen, aber der Hf-Mittelwert in der Endbelastungsstufe des B-EKG signifikant höher ausfällt als in den Kurztests ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,17$). Unter *Belastung* kam es in allen Belastungstests zum erwarteten Hf-Anstieg und nach Belastungsende (*Erholung*) zum Hf-Abfall. Aber nur im Stepp- und Kniebeugetest erreicht die Hf 3 min nach der Belastung wieder das Niveau der *Vorruhe*. Allerdings lag im B-EKG ($\bar{\emptyset}$ 88 bpm) bereits zu Beginn eine signifikant höhere Hf vor als bei den Kurztests ($\bar{\emptyset}$ 73 bpm, $\eta^2_{\text{partial}} = 0,12$).

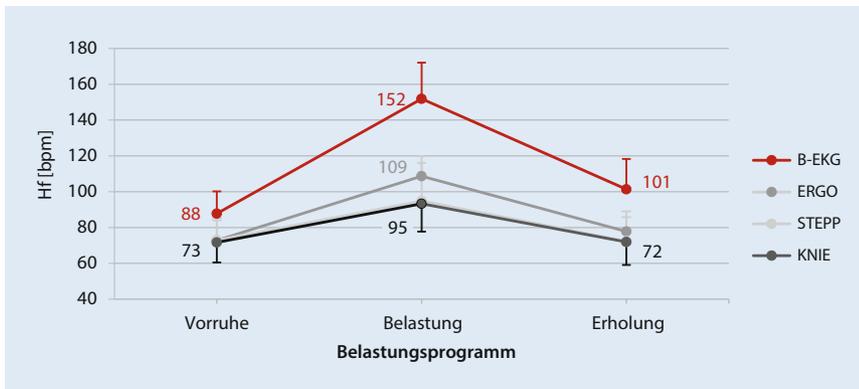


Abb. 1 ▲ Herzfrequenz während Belastungs-EKG und Kurztests (B-EKG Belastungs-EKG, ERGO Kurzergeomtrie, STEPP Stepptest, KNIE Kniebeugetest)

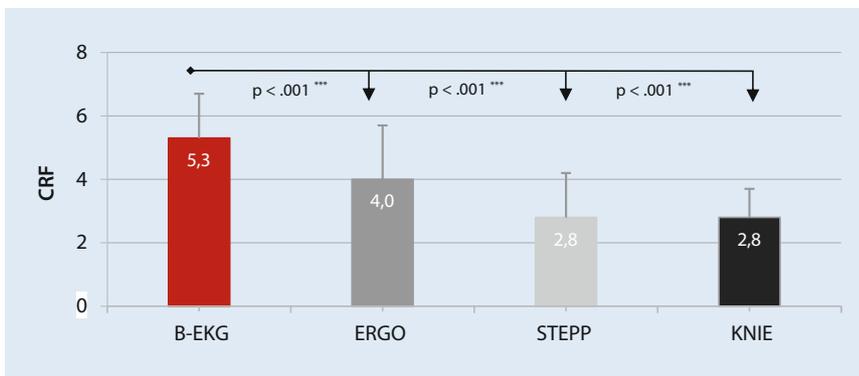


Abb. 2 ▲ Fitness der Belastungstests (B-EKG Belastungs-EKG; ERGO Kurzergeomtrie; STEPP Stepptest; KNIE Kniebeugetest; *** $p < 0,001$)

Bei der Hf ergaben sich für *Belastungstest* signifikante Haupt- ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,13$) und Wechselwirkungseffekte mit den Kovariablen ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,15-0,49$). Erwartungsgemäß bestätigte sich für *Messzeitpunkt* ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,35$); Wechselwirkungseffekte treten im Zusammenhang mit *Geschlecht*, *Alter* und *Sportstunden/Woche* auf ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,12-0,22$). Männer weisen im B-EKG und den Kurztests (geringe Hf-Reaktivität auf *Belastung*) eine höhere Leistungsfähigkeit auf als Frauen. Vergleichbares Hf-Verhalten ließ sich zwischen Jüngeren und Älteren, Normal- und Übergewichtigen sowie sportlich Aktiven und Inaktiven beobachten.

Die Korrelationskoeffizienten der Belastungs-Hf zwischen B-EKG und Kurztests befinden sich im geringen (B-EKG:ERGO: $r = 0,42$, B-EKG:STEPP: $r = 0,35$) bzw. an der Grenze zum mittleren Bereich (B-EKG:KNIE: $r = 0,51$).

Die Belastungstests wiesen eine unterschiedliche Zeitdauer auf, wobei das B-EKG mit durchschnittlich 735 s ungefähr die 20-fache Zeit der Kurztests in Anspruch nahm. Beim B-EKG wurde während der Belastungszeit im Durchschnitt eine Leistung von 152 W erreicht (Männer: \bar{O} 184 W; Frauen: \bar{O} 111 W). Die einzige Belastungsstufe, die alle Teilnehmer absolvierten, war die 75-Watt-Stufe. Hier zeigte sich eine mittlere Hf von 113 bpm, die annähernd der Belastung in der Kurzergeomtrie (\bar{O} 109 bpm) entsprach, während die Hf im Stepp- und Kniebeugetest (\bar{O} 95 vs. 93 bpm) deutlich niedriger ausfielen.

Fitness der Belastungstests

Um zu klären, ob die submaximale CRF zwischen B-EKG mit der ermittelten Fitness der Kurztests vergleichbar ist, wurden die Fitness-Mittelwerte der Belastungstests ebenfalls in einem ALM mit dem Faktor *Belastungstest* (B-EKG,

ERGO, STEPP, KNIE) und den Kovariablen überprüft (Tab. 1).

Die ermittelte Fitness unterschied sich zwischen den Belastungstests signifikant ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,23$), was Abb. 2 veranschaulicht. Bei differenzierter Betrachtung (t-Test) bestanden diese Unterschiede zwischen dem B-EKG und allen Kurztests ($d = 0,67-1,68$), was eine eindeutig höhere Beanspruchung des B-EKG dokumentiert (Abb. 2). Pescatello et al. [23] folgend wurde im B-EKG eine durchschnittliche submaximale Ausbelastung von 87 %, in den Kurztests nur maximal 63 % erreicht.

Nach den Wechselwirkungseffekten werden auch die Ergebnisse der ermittelten Fitness durch *Geschlecht*, *Alter* und *Sporteffekte* signifikant beeinflusst ($\eta^2_{\text{partial}} > 0,06$). Danach ist im B-EKG und den Kurztests bei Männern gegenüber Frauen, Jüngeren gegenüber Älteren und sportlich Aktiven gegenüber Inaktiven von einer unterschiedlichen Beanspruchung auszugehen.

Für die ermittelte Fitness ergaben sich zwischen B-EKG und Kurztests nur sehr geringe Zusammenhänge ($r = 0,16-0,17$); lediglich zwischen B-EKG und Kniebeugetest besteht eine geringe Korrelation ($r = 0,23$). Das unterstreicht eine intraindividuell unterschiedliche Testbewältigung und Belastungsanforderung im B-EKG und den Kurztests.

Fitness der Kurztests

Abschließend wurde die Fitness für die drei Kurztests in einem ALM mit dem Faktor *Kurztest* und den Kovariablen getestet (Tab. 2) und die Haupteffekte mittels t-Testes für abhängige Stichproben erneut eingeordnet.

Die Fitness unterschied sich in den Kurztests signifikant ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,22$), wobei der Unterschied zwischen Kurzergeomtrie und Stepp- bzw. Kniebeugetest vorlag ($d = 0,84$ bzw. $0,89$), nicht aber zwischen Stepp- und Kniebeugetest ($p > 0,990$). Diese Ergebnisse sind ebenfalls durch *Geschlechts-* ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,15$) und *Alterseffekte* ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,13$) beeinflusst. Zwischen den Kurztests bestanden mittelstarke Zusammenhänge ($r = 0,54-0,62$).

Tab. 1 Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Fitness, des Faktors *Belastungstest* und der Kovariaten

Faktoren	F-Wert	p-Wert	Effektgröße η^2_{partial}
<i>Belastungstest</i>	6,0	0,001 ^b	0,23
<i>Belastungstest</i> – Geschlecht	3,1	0,033 ^a	0,14
<i>Belastungstest</i> – Alter	2,9	0,040 ^a	0,13
<i>Belastungstest</i> – BMI	1,6	0,191	0,08
<i>Belastungstest</i> – Sportstunden/Woche	3,4	0,023 ^a	0,15
<i>Kovariate</i>			
Konstanter Term	25,1	<0,001 ^c	0,29
Geschlecht	1,2	0,280	0,02
Alter	1,0	0,330	0,02
BMI	3,8	0,054	0,06
Sportstunden/Woche	1,4	0,237	0,02

ALM Innersubjektdesign: *Belastungstest*

BMI Body Mass Index

^ap < 0,05^bp < 0,01^cp < 0,001**Tab. 2** Haupt- und Wechselwirkungseffekte (Hotelling-Spur) der Fitness, des Faktors *Kurztest* und der Kovariaten

Effekte	F-Wert	p-Wert	Effektgröße η^2_{partial}
<i>Kurztest</i>	8,6	<0,001 ^b	0,22
<i>Kurztest</i> – Geschlecht	4,1	0,021 ^a	0,12
<i>Kurztest</i> – Alter	4,5	0,015 ^a	0,13
<i>Kurztest</i> – BMI	2,1	0,132	0,06
<i>Kurztest</i> – Sportstunden/Woche	2,8	0,066	0,09
<i>Kovariate</i>			
Konstanter Term	18,2	<0,001 ^b	0,23
Geschlecht	2,5	0,117	0,04
Alter	1,4	0,237	0,02
BMI	4,3	0,042 ^a	0,07
Sportstunden/Woche	2,2	0,147	0,03

ALM Innersubjektdesign: *Kurztest*^ap < 0,05^bp < 0,001

In keinem Kurztest wurde der submaximale Belastungsbereich erreicht. Nach Pescatello et al. [23] ist die Belastung in den Kurztests als leicht einzustufen (Ausbelastung: ERGO 63 %, STEPP 55 %, KNIE 55 %). Die Belastungszeiten unterschieden sich in Kurztests nicht signifikant ($\eta^2_{\text{partial}} = 0,03$; ERGO: $\bar{O} 27 \pm 7$ s; STEPP: $\bar{O} 38 \pm 9$ s; KNIE: $\bar{O} 24 \pm 5$ s), wobei dieses Ergebnis durch die Standardabweichungen bedingt sein kann.

Diskussion

Die Zusammenhänge zwischen dem B-EKG und den Kurztests sind sehr

gering. Ebenso fanden sich in der Varianzanalyse signifikante Unterschiede in den CRF-Werten des B-EKG und der Kurztests, wonach die CRF in den Kurztests deutlich geringer ausfiel und keine submaximale Ausbelastung erreicht wurde. Nach diesen Ergebnissen wird in den Kurztests ein anderer Fitnesskennwert gemessen als im klassischen B-EKG. Es ist anzunehmen, dass die Belastung des kardiorespiratorischen Systems in den Kurztests zu gering war und sich zusätzlich der Einfluss von Zufallsgrößen wie Aufregung, Messungenauigkeit, Tagesform etc. auf die Messergebnisse ausgewirkt hat. Die in den Kurztests

gemessene Fitness lässt sich somit eher als „Kurzbelastungsfitness“ (KBF) und nicht als klassische CRF beschreiben.

Gestützt wird dieser Fakt durch die deutlich unterschiedlichen Belastungszeiten im B-EKG und den Kurztests. Während im B-EKG eine 87%ige Ausbelastung vorlag, entsprach die Ausbelastung in den Kurztests mit 55–63 % einer eher leichten Belastung [23]. Sie bilden eher die „Kurzzeitausdauer“ (35–120 s) ab. Je länger die Belastung, desto mehr beeinflusst die aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit das Testergebnis. Das B-EKG mit durchschnittlich 12 min Belastungszeit fällt schon knapp in den Bereich der Langzeitausdauer Stufe 1 (10–35 min; [30]).

In der Literatur werden die meisten Ergometer-Untersuchungen mit Belastungstests verglichen, die einem festen Protokoll folgen, mehr Zeit in Anspruch nehmen und dadurch stärker belasten [12, 13]. In vorliegender Studie wurde beim B-EKG bis zum Erreichen der submaximalen Hf belastet, während die Kurztests nach einer definierten Belastung beendet waren. Dies manifestiert sich an zwei Ergebnissen: Zum einen ist die einzige Belastungsstufe im B-EKG, die alle Teilnehmer absolvierten, die 75-W-Stufe, was der Hf der Belastung der Kurztests entspricht. Zum anderen minimiert sich bei geringer Fitness der Unterschied in den Belastungszeiten: So ist die Zeit des B-EKG kürzer, da eine Erschöpfungsreaktion früher eintritt, während sich die Testzeit in den Kurztests verlängert. Hier könnten Nachteile der Untersuchungsmethode „Kurztest“ vorliegen, bei der Geschwindigkeit oder Widerstand nicht von außen kontrolliert bzw. vorgegeben werden („self paced tests“). Es kann daher im interpersonellen Vergleich zu einer ungenügenden Leistungsabbildung im interpersonellen Vergleich kommen [1].

Die KBF in den Kurztests weist mittlere Korrelationen ($r = 0,53$ – $0,62$) auf, was eher auf keine Austauschbarkeit dieser Tests untereinander schließen lässt. Allerdings haben sich auch hier Unterschiede in den KBF-Werten der Kurztests gezeigt, mit Ausnahme zwischen Stepp- und Kniebeugetest. Das weist insgesamt auf eine unterschiedliche Beanspruchung

des Herz-Kreislauf-Systems und intraindividuell unterschiedliche Bewältigung in den einzelnen Belastungstests hin. Die KBF wird durch diese Tests nicht homogen genug gemessen.

Als Einflussfaktoren auf die KBF haben sich die Faktoren *Geschlecht* und *Alter* bestätigt. d.h. bei Männern und Frauen ist bei der Testbewältigung von einer unterschiedlichen KBF auszugehen, die sich zudem mit dem Alter zu verändern scheint. Es zeigte sich, dass die KBF bei Männern höher ist als bei Frauen und sie mit steigendem Alter bei beiden Geschlechtern abnimmt. Dieser Effekt wird bei Frauen auf die geringere bzw. im Alter auf die abnehmende Muskelmasse zurückgeführt [11]. Denn Männer und Frauen sind in vorliegender Studie etwa in gleichem Umfang sportlich aktiv. Hinzu kommt, dass die körperliche Fitness neben verhaltensbezogenen und strukturellen Faktoren auch von genetischen Komponenten beeinflusst wird [14].

Unerwartet war, dass die Anzahl der *Sportstunden/Woche* keinen Einfluss auf die KBF hatte. Als ein Grund dafür kann die subjektive Erfassung der körperlichen Aktivität anhand des Fragebogens vermutet werden. Ebenso lässt sich annehmen, dass die Belastung in den kurzen Tests zu gering war und die Kurzbelastungsfitness kaum durch körperliches Training beeinflusst wird, während der Einfluss von Sport auf die Ergebnisse des B-EKG durch die Erhöhung der Langzeitausdauer bereits bekannt ist.

Untersuchungskritik

Stichprobe. Die freiwillige Teilnahme an den Untersuchungen kann mit Selektionseffekten (z.B. „healthy worker effect“) einhergehen. Kausalitätsbeziehungen sind aufgrund des Querschnittsdesigns nicht abgesichert.

CRF. Mit keinem der hier angewendeten Verfahren wird die CRF direkt gemessen. Die Formel nach Wicks et al. [29] ermöglicht lediglich die Ermittlung der submaximalen CRF beim B-EKG bzw. der KBF bei den Kurztests.

Kurztests. Die Kurztests für diese Untersuchungen wurden erstmals erprobt. Es

handelt sich somit nicht um bereits etablierte Protokolle. Hierfür müssten in der Folge Validierungsstudien durchgeführt werden. Beim Steeptest ist einschränkend festzustellen, dass die personengerechte Anpassung nur eingeschränkt erfolgte. Somit wurde die Tritthöhe nicht ausreichend an die Körpergröße angepasst. Die durchschnittliche Körpergröße der Männer war in dieser Studie 180 cm und die der Frauen lag bei 165 cm.

Physiologische Maße. Die physiologischen Maße unterliegen auch Messfehlern. Je nach Erhebungsmethode können die Messwerte durch weitere methodenspezifische Einflussfaktoren (u.a. Aufregung, Erhebungszeitpunkt) schwanken. So lässt sich der Unterschied der Ruheherzfrequenz bei den Kurztests im Vergleich zum B-EKG ggf. auf eine psychogene Triggerung vor einer größeren Belastung sowie eine verstärkte Aufregung aufgrund des komplexen Messplatzes zurückführen.

Schlussfolgerung

Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge stellt die Erfassung der submaximalen CRF mit dem B-EKG eine wertvolle Ergänzung des Untersuchungsspektrums dar. Eine Einschätzung der CRF durch die untersuchten Kurztests ist nicht valide möglich. Das unterstreicht die Bedeutung der standardisierten Ergometrie zur CRF-Bestimmung. Mit Kurztests sind wahrscheinlich Aussagen zur KBF möglich. Inwieweit diese Fitness jedoch das Risiko für Erkrankungen des kardiovaskulären bzw. respiratorischen Systems vorausschauend einschätzen kann, muss weiter untersucht werden. Bestätigt wurde, dass v.a. *Geschlecht* und *Alter* Einfluss auf die KBF haben. Das muss bei ihrer Bewertung und Interpretation beachtet werden.

Unter den Kurztests ist eine Überlegenheit des Steeptests als präventivmedizinisches Screeningverfahren aufgrund des ökonomischen Test- und Materialaufwands zu diskutieren. Er ist er gegenüber der Kurzergometrie ökonomisch und flexibel einsetzbar. Im Vergleich zum Kniebeugetest bestehen keine Kontraindikationen für Knie- und Hüft-

gelenkprobleme. Es ist jedoch zu untersuchen, um wie viel die Belastung erhöht werden muss, um eine Aussage über die CRF treffen zu können. In dieser Untersuchung entsprach die Belastung des Steeptests ungefähr einer 75-W-Stufe beim B-EKG.

Fazit für die Praxis

- Mit den Kurztests wurde der submaximale Belastungsbereich nicht erreicht. Es ließ sich aber ein vergleichbares Verhaltensmuster zum Belastungs-EKG (B-EKG) zeigen, so dass Kurztests, vor allem der einfache und ortsunabhängig durchzuführende Steeptest als arbeitspräventivmedizinisches Screeningverfahren zur Früherkennung kardiovaskulärer Fitnessdefizite möglich sind.
- Die in den Kurztests gemessene Fitness wird als „Kurzbelastungsfitness“ interpretiert. Die standardisierte submaximale Belastungsergometrie (B-EKG) bleibt der Goldstandard zur kardiorespiratorischen Fitness-(CRF-)Ermittlung.
- Die Kurzbelastungsfitness (KBF) ist von *Geschlecht* und *Alter* abhängig. Sie erfordert perspektivisch geschlechts- und altersdefinierte Bewertungskriterien.
- Inwieweit Kurztests wie der Steeptest und die daraus ermittelte KBF eine Risikoeinschätzung für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (HKE) ermöglichen, muss weiter untersucht werden.

Korrespondenzadresse



Alexander Frühauf
Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, Lehrstuhl für Gesundheitswissenschaften/ Public Health, Technische Universität Dresden
Fetscherstr. 74, 01307 Dresden, Deutschland
Alexander.Fruhauf@uniklinikum-dresden.de

Dr. Reingard Seibt
Institut für Präventivmedizin (IPM),
Universitätsmedizin Rostock
St.-Georg-Str. 108, 18055 Rostock, Deutschland
reingard.seibt@uni-rostock.de

Förderung. Diese Arbeit wurde von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Dortmund gefördert.

Author Contribution. R. Seibt hat die Konzeption und Methodik der Studie erstellt und die Untersuchungen durchgeführt; das B-EKG erfolgte durch Ärzte. Die statistische Analyse und Interpretation der Daten erfolgte durch A. Frühauf und R. Seibt. Der erste Entwurf des Manuskripts wurde von A. Frühauf verfasst und R. Seibt und J. Kugler haben das Manuskript kommentiert und korrigiert. Alle Autoren haben das endgültige Manuskript gelesen und genehmigt.

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Frühauf, J. Kugler, S. Spitzer und R. Seibt geben an, dass kein Interessenkonflikt im Zusammenhang mit der Veröffentlichung dieses Artikels besteht.

Diese Studie wurde in Übereinstimmung mit den Richtlinien der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes (WMA) und den ethischen Grundsätzen der medizinischen Forschung am Menschen in der Fassung der 9. Generalversammlung des WMA in Seoul (Republik Korea) im Oktober 2008 durchgeführt. Die Ethikkommission der Technischen Universität Dresden (EK 250397) hat die Studie genehmigt. Nach Aufklärung wurde von allen Teilnehmern dieser Studie eine schriftliche Einwilligung zur Datenspeicherung und -nutzung eingeholt.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. de Andrade V, Papoti M, Zapatero Campos E, Kalva-Filho C, Bucken Gobbi R, Palucci Vieira L (2018) Lactacidemic variation and movement patterns during anaerobic power test. *J Sports Med Phys Fitness* 58:576–582

- Blair S, Kohl H, Barlow C, Paffenbarger R, Gibbons L, Macera C (1995) Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *J Am Med Assoc* 273:1093–1098
- Brandes M (2012) The importance of physical activity and fitness for human health. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 55:96–101
- Bühl A (2012) SPSS 20: Einführung in die moderne Datenanalyse. Pearson Studium, Hallbergmoos
- Cohen J (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale
- Cooney J, Moore J, Ahmad Y, Jones J, Lemmey A, Casanova F, Maddison P, Thom J (2013) A simple step test to estimate cardio-respiratory fitness levels of rheumatoid arthritis patients in a clinical setting. *Int J Rheumatol*. <https://doi.org/10.1155/2013/174541>
- De Andrade C, Cianci R, Malaguti C, Dal Corso S (2012) The use of step tests for the assessment of exercise capacity in healthy subjects and in patients with chronic lung disease. *J Bras Pneumol* 38:116–124
- Eng J, Dawson A, Chu K (2004) Submaximal exercise in persons with stroke: Test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Arch Phys Med Rehabil* 85:113–118
- Ermolao A, Roman F, Gasperetti A, Varnier M, Bergamin M, Zaccaria M (2015) Coronary CT angiography in asymptomatic middle-aged athletes with ST segment anomalies during maximal exercise test. *Scand J Med Sci Sports* 26:57–63
- Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A (2007) G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 39:175–191
- Finger J, Krug S, Gößwald A, Härtel S, Bös K (2013) Kardiorespiratorische Fitness bei Erwachsenen in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 56:772–778
- Fletcher G, Ades P, Kligfield P (2013) Exercise standards for testing and training. *Circulation* 128:873–934
- Grobe T, Steinmann S (2016) *Gesundheitsreport 2016: Gesundheit zwischen Beruf und Familie*. Techniker Krankenkasse, Hamburg
- Hollmann W, Strüder H (2009) *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Schattauer, Stuttgart
- Jurca R, Jackson A, LaMonte M, Morrow J, Blair S, Wareham N, Haskell W, Van Mechelen W, Church T, Jakicic J, Laukkanen R (2005) Assessing cardiorespiratory fitness without performing exercise testing. *Am J Prev Med* 29:185–193
- LaMonte M, Eisenman P, Adams T, Shultz B, Ainsworth B, Yanowitz F (2000) Cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors: The LDS Hospital Fitness Institute cohort. *Circulation* 102:1623–1628
- Laukkanen J, Kurl S, Salonen R, Rauramaa R, Salonen J (2004) The predictive value of cardiorespiratory fitness. *Eur Heart J* 25:1374–1375
- Lee D, Artero E, Sui X, Blair S (2010) Mortality trends in the general population: The importance of cardiorespiratory fitness. *J Psychopharmacol* 24:27–35
- Löllgen H, Erdmann E, Gitt A (Hrsg) (2010) *Ergometrie – Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis* Bd. 3. Springer, Heidelberg
- Lynch J, Helmrich S, Lakka T, Kaplan G, Cohen R, Salonen R, Salonen JT (1996) Moderately intense physical activities and high levels of cardiorespiratory fitness reduce the risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in middle-aged men. *Arch Intern Med* 156:1307–1314
- Mehta N, Myrskylä M (2017) The population Health Benefits of a healthy lifestyle: Life expectancy increased and onset of disability delayed. *Health Aff* 36:1–8
- Noonan V, Dean E (2000) Submaximal exercise testing: Clinical application and interpretation. *Phys Ther* 80:782–807
- Pescatello L, Arena R, Riebe D, Thompson P (2014) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- Stamatakis E, Hamer M, O'Donovan G, Batty G, Kivimaki M (2013) A non-exercise testing method for estimating cardiorespiratory fitness: Associations with all-cause and cardiovascular mortality in a pooled analysis of eight population-based cohorts. *Eur Heart J* 34:750–758
- Statistisches Bundesamt (2015) *Gesundheit. Diagnose- und Patiententinnen in Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen 2013*. Fachserie 12 Reihe 6.2.2. DeStatis, Wiesbaden
- Stickland M, Butcher S, Marciniuk D, Bhutani M (2012) Assessing exercise limitation using cardiopulmonary exercise testing. *Pulm Med* 2012:824091
- Sykes K, Roberts A (2004) The Chester step test—a simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. *Physiotherapy* 90:183–188
- Tanaka H, Monahan K, Seals D (2001) Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 37:153–156
- Wicks J, Oldridge N, Nielsen L, Vickers C (2011) HR index—a simple method for the prediction of oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc* 43:2005–2012
- Wonisch M, Hofmann P, Förster H, Hörtnagl H, Ledl-Kurkowski E, Pokan R (2017) *Kompendium der Sportmedizin*. Springer, Wien