

Kardiopulmonaler Test durch Bestimmung der aeroben Kapazität bei Schiffsärzten mittels belastungsabhängiger Herzfrequenzmessung.

Cardiopulmonary test by determination of aerobic capacity in marine doctors by means of load-dependent heart rate measurement.

Schedler, O., Wunderlich, S., Enk R., von Rottkay, E.

Helios Klinikum Bad Saarow, Fachbereich Sportmedizin, Pieskower Straße 33, 15526 Bad Saarow,
Leitender Arzt: Dr. Eberhard von Rottkay,

Korrespondenz: BS-SM-Sportmedizin@helios-gesundheit.de

Die Bewertung der kardiorespiratorischen Belastbarkeit durch die Bestimmung der aeroben Kapazität wurde bei Schiffsärzten bisher noch nicht durchgeführt. Durch die Untersuchungen ermittelten wir mittels submaximalen Chester Step Test (CST) die Vorhersage der aeroben Kapazität im Vergleich zur maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂Max).

Die Probanden (n=9) im Durchschnittsalter 52,9±9,9 Jahre (Spanne 37-66 Jahre) absolvierten den Chester-Step-Test (CST) in einer einzelnen Testdurchführung an Bord eines Schiffes. Während des submaximalen Stufentests wurden die Probanden aufgefordert, auf eine 30 cm hohe Stufe in einem Schottdurchgang zu steigen und diese wieder zu verlassen, und zwar in einem Tempo, welche durch einen standardisierten Rhythmus vorgegeben wurde. Der anfängliche Rhythmus betrug 60 Takte pro Minute und wurde alle 2 Minuten um 20 Takte pro Minute erhöht. Die Probanden setzten den Test fort, bis sie 80 % ihrer maximalen vorhergesagten Herzfrequenz erreichten oder eine Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung als anstrengend beschrieben oder das Ende des 10-minütigen 5-stufigen Tests erreichten. Die Messwerte der Herzfrequenzen wurden kontinuierlich mit einem Pulsoximeter bestimmt. Die Herzfrequenz und die Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung wurden nach jeder 2-Minuten-Phase aufgezeichnet.

Die Ergebnisse zeigten einen Zusammenhang zwischen VO₂80 und Alter (t-Test, p<0,001) und zwischen VO₂max und Alter (t-Test, p<0,05), womit die Gültigkeit der CST als Prädiktor für die aerobe Kapazität (VO₂Max) bestätigt wurde.

Der Chester-Step Test hatte sich als valider Test für die Schätzung der aeroben Kapazität in dieser Gruppe erwiesen.

The assessment of cardiorespiratory exercise capacity through the determination of aerobic capacity has not yet been carried out among shipboard doctors. Through the examinations, we determined the prediction of aerobic capacity in comparison to maximal oxygen uptake (VO₂Max) by means of submaximal Chester step test (CST). Subjects (n=9) with mean age 52.9±9.9 years (range 37-66 years) completed the Chester Step Test (CST) in a single test session on board a vessel. During the submaximal step test, subjects were asked to climb up and down a 30 cm high step in a bulkhead passage at a pace dictated by a standardised rhythm. The initial rhythm was 60 beats per minute and was increased by 20 beats per minute every 2 minutes. Subjects continued the test until they reached 80% of their maximum predicted heart rate or described a rating of perceived exertion as strenuous or reached the end of the 10-minute 5-step test. Heart rate readings were taken continuously with a pulse oximeter. Heart rates and ratings of perceived exertion were recorded after each 2-minute phase. The results showed a relationship between VO₂80 and age (t-test, p<0.001) and between VO₂max and age (t-test, p<0.05), confirming the validity of CST as a predictor of aerobic capacity (VO₂Max). The Chester step test had proven to be a valid test for estimating aerobic capacity in this group.

Keywords: aerobe Kapazität, Chester Step Test, kardiopulmonale Belastbarkeit, Schiffsärzte, Seediensttauglichkeit aerobic capacity, Chester Step Test, cardiopulmonary exercise capacity, ship's doctors, fitness for sea duty

Einleitung

In der internationalen Seefahrt müssen Seeleute unabhängig ihrer Funktion an Bord eine regelmäßige Seediensttauglichkeitsuntersuchung durchführen. Neben der Erhebung allgemeiner Vitalparameter ist die Bestimmung der Sehstärke beider Augen sowie einem Farbsehtest, einer Sprachaudiometrie beider

Ohren, einer körperlichen Untersuchung und Bestimmung eines Urinstreifentestes sowie Erhebung der biometrischen Parameter (Größe, Gewicht) gefordert. [8] Eine gezielte und valide Beurteilung oder Untersuchung zur kardiopulmonalen Belastbarkeit besteht im Rahmen der Seediensttauglichkeitsuntersuchung grundsätzlich nicht.

Bei Schiffen mit einer Länge von bis zu 350 Metern und einer Höhe von bis zu 50 Metern, ist die räumliche Ausdehnung eines Schiffes für die Schiffsärzte enorm. Neben einer horizontalen Belastung, welche durch die Vermessung einer begehbaren Decksrunde von 350 bis 400 Metern eruiert wurden ist, sind ausreichend Stufen zwischen 25 und 35 cm Höhe an Bord vorhanden, welche zur Bewältigung eine gewisse kardiopulmonale Grundbelastbarkeit voraussetzen.

Nicht berücksichtigt wird das medizinische Equipment, welches zur Behandlung außerhalb der Behandlungsräume eines Schiffes erforderlich ist oder für die Aufgaben eines Schiffsarztes im Rahmen der Gefahrenabwehr und Brandbekämpfung an Bord oder durch Aktivitäten des allgemeinen Schiffsbetriebes (Segelschiff) notwendig sein können.

Um diese Gefahren- und Brandabwehr und die Verwendung im allgemeinen Schiffsbetrieb zu trainieren, müssen Schiffsärzte wie alle anderen Seeleute einen Basissicherheitslehrgang absolvieren und regelmäßig wiederholen und ggf. Deckdienstaufgaben übernehmen. Dabei sind körperliche Anstrengungen wie Übungsszenarien unter feuerwehrtechnischen Vollschutz, Brandbekämpfungsübungen mit Feuerlöschern und Löschgeräten, Übungen im Überlebensanzug und zur Selbst- und Fremddrettung in die unterschiedlichsten Rettungsmittel sowie umfangreiche Rigg- und Decksarbeiten zu bewältigen.

Mit dem Astrand Ryhming Algorithmus wurde ein Nomogramm vorgestellt, mit dem die maximal erreichbare Sauerstoffaufnahme (aerobe Kapazität) eines Probanden anhand der submaximalen Herzfrequenz berechnet werden kann. [1] Als Untersuchungsobjekt wurde ein Stufentest (Chester Step Test) implementiert. Der Chester Step Test (CST) wurde für den Einsatz von medizinischen- und körperlichen Belastungssituationen entwickelt. Es handelt sich um einen progressiven submaximalen Test, bei dem die

Probanden einen Stufen- oder Treppentest absolvieren, welcher in einem vorgegebenen Tempo durchgeführt wird, um eine Herzfrequenz von 80 % des Maximalwerts zu erreichen und einer mäßig starken körperlichen Anstrengung entsprechen sollte. [6]

Die Herzfrequenzen werden in einem Diagramm dargestellt, aus dem die maximale aerobe Kapazität ($VO_2\max$) vorhergesagt werden kann. Der CST hat sich in seiner Reliabilität und Validität als zuverlässig erwiesen. [2-7]

Material und Methoden

Während eines ärztlichen Ausbildungstörn auf der Segelbark „Alexander von Humboldt II“ zum Basissicherheitstrainings wurden 9 Probanden zur Durchführungen eines Chester Step Testes (CST) gewonnen. Die Probanden wiesen ein Durchschnittsalter von $52,9 \pm 9,9$ Jahre, in einer Spanne 37-66 Jahre auf und absolvierten den Chester-Step-Test (CST) in einer einzelnen Testdurchführung an Bord des Schiffes. Keiner der teilnehmenden Probanden gab Vorerkrankungen oder Medikamenteneinnahme an und alle fühlten sich für diesen Test ausreichend trainiert. Da für die Teilnahme an dem CST Test keine weiteren Angaben zur Vitalparameter oder biomedizinischen Angaben notwendig sind, wurden diese auch nicht erhoben. Letztlich sind für die Durchführung des CST Testes nur die Angaben von Alter und Geschlecht erforderlich. Der CST ist ein Test zur Bewertung der aeroben Belastbarkeit unter submaximalen Bedingungen. [6] Der Test erfordert keine Kalibrierung und eignet sich gut für Männer und Frauen und weist keine geschlechts- oder größenbedingten Unterschiede auf. Während einer sorgfältige Standardisierung der Bedingungen, welche die Genauigkeit und Aussagekraft der Testergebnisse verbessern, wurden die Einflüsse auf die Ruheherzfrequenz durch Angst, schlechte Schritttechnik und unregelmäßige Atemmuster, Tageszeit und Medikamente reduziert. [5-7]

Während des submaximalen Stufentests wurden die Probanden aufgefordert, auf eine 30 cm hohe Stufe in einem Schottdurchgang zu steigen und diese wieder zu verlassen, und zwar in einem Tempo, welche durch einen standardisierten Rhythmus vorgegeben wurde. Der anfängliche Rhythmus betrug 60 Takte pro Minute und wurde alle 2 Minuten um 20 Takte pro Minute erhöht (vgl. Abbildung 1). Die Probanden setzten den Test fort, bis sie 80 % ihrer maximalen vorhergesagten Herzfrequenz erreichten oder eine Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung als anstrengend beschrieben oder das Ende des 10-minütigen 5-stufigen Tests erreichten. Die Messwerte der Herzfrequenzen wurden kontinuierlich mit einem Pulsoximeter gemessen. Die Herzfrequenz und die Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung wurden nach jeder 2-Minuten-Phase aufgezeichnet.

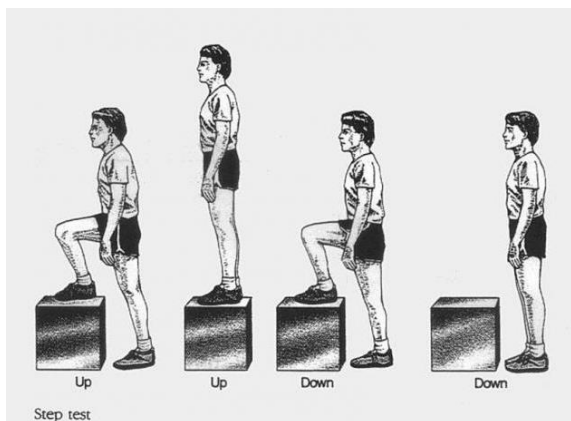


Abbildung 1: Testverlauf nach Gambar:
<https://bashny.net/uploads/images/00/00/44/2017/02/19/2ad75a01c5.jpg>

Die errechnete maximale Herzfrequenz betrug in der Gesamtgruppe $167,7 \pm 9,8$ 1/min. In der Frauengruppe lag die kalkulierte maximale Herzfrequenz bei $170,0 \pm 9,1$ 1/min. In der Männergruppe lag die errechnete maximale Herzfrequenz bei $165,8 \pm 10,9$ 1/min. Sowohl in der Analyse zur Gesamtgruppe als auch in den geschlechtsspezifischen Gruppen untereinander gab es keinen signifikanten Unterschied (t-Test, $p > 0,05$). Um die maximale Herzfrequenz zu errechnen gilt folgende Formel:

Für die Vorgabe der Testgeschwindigkeit wurde ein iPhone und der Metronomesoftware Tempo Version 5.0.6, (Fa.Tempolite// Frozen App) verwendet. Die Dokumentation erfolgte auf standardisierten Protokollen zur Testdurchführung.

Ergebnisse

Die aus neun Teilnehmern bestehende Probandengruppe teilte sich auf in vier Frauen (44,4%) und fünf Männer (55,6%). Die Verteilung in den Altersgruppen betrug im Mittel $52,9 \pm 9,9$ Jahre (MW \pm SD). In der Gruppe der Frauen betrug der Altersdurchschnitt $50 \pm 9,1$ Jahre. Zur Gesamtgruppe sowie zu den geschlechtsspezifischen Altersgruppen gab es keine signifikanten Unterschiede (t-Test $p > 0,05$). Die Altersverteilung der Gesamtgruppe (n=9) zur Frauengruppe (n=4) und Männergruppe (n=5) zeigt Abbildung 2.

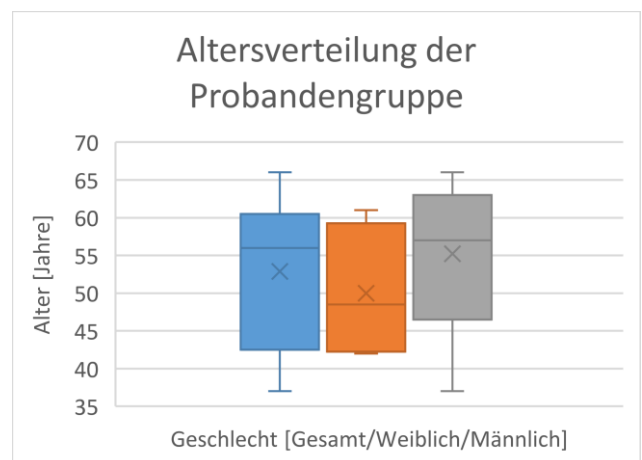


Abbildung 2: Altersverteilung in der Probandengruppe (n=9) Gesamt/Frauen/Männer

$$220 - \text{Alter} = \text{maximale Herzfrequenz (1)}$$

Die daraus abgeleitete lineare Korrelation unserer Probandengruppe folgt der Formel $y = -0,9738x + 219,17$ zum Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,9117$.

Der Sauerstoffverbrauch bei 80%-tiger Belastung lag nach Astrand Ryhming Nomogramm im Mittelwert aller Probanden bei $26,2 \pm 5,5$ ml/min/kg KG. Der geschlechtsspezifische Mittelwert des Sauerstoffverbrauchs lag mit $27 \pm 4,9$

ml/min/Kg KG bei den Frauen und bei 25,2±6,3 ml/min für die teilnehmende männliche Probandengruppe. Der maximal getestete Wert des Sauerstoffverbrauchs bei 80%-tiger Herzfrequenz betrug 33 ml/min/kg (42 Jahre, weiblich, MHR 178/min). Der minimale Wert für die aerobe Kapazität betrug 16 ml/min/kg (66 Jahre, männlich, MHR 154/min). In der Analyse zur Gesamtgruppe sowie innerhalb der geschlechtsspezifischen Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied (t-Test, p>0,05).

Als Maß der maximalen Auslastung kann im Astrand Ryhming Nomogramm auf die Belastung bei maximaler Herzfrequenz Bezug genommen werden. In der Chester Step Testung erreichte kein Proband die maximale Herzfrequenz seiner Altersgruppe.

Der maximale Sauerstoffverbrauch der Gesamtgruppe wurde kalkulatorisch mit 42,6±8,1 ml/min/kg KG bestimmt. In der Gruppe der Frauen konnte ein maximaler Sauerstoffverbrauch von 41,3±3,9 ml/min/kg KG errechnet werden. In der Männergruppe lag der Wert bei 43,6±10,8 ml/min/kg KG. Einen signifikanten Unterschied zwischen den geschlechtsspezifischen Gruppen untereinander und zur Gesamtgruppe gab es nicht (t-Test, p>0,05). Unterteilt man die Altersgruppen in die Gruppen bis 45 Jahre, von 46 bis 59 Jahre sowie ab dem 60. Lebensjahr ergaben sich folgende Ergebnisse des CST bei Schiffsärzten. In der Tabelle 1 werden die Daten der Herzfrequenzen und die aeroben Kapazitäten nach den Altersklassen aufgezeigt.

Alter	MHR (MW±SD) [1/min]	MHR 80 (MW±SD) [1/min]	VO ₂ 80 [ml/min/kg]	Max VO ₂ [ml/min/kg]
Bis 45 Jahre	179,3±3,2	143,3±2,3	30,0±4,4	47,3±9,7
46-59 Jahre	166,0±2,0	132,3±1,5	27,0±1,4	41,7±4,0
Ab 60 Jahre	157,7±3,2	126,3±2,9	21,7±5,5	38,7±9,6

Tabelle 1: Aerobe Kapazitäten nach Altersgruppen von Schiffsärzten (MW±SD)

Die aerobe Kapazität verlief in der Probandengruppe linear und zeigte mit der Formel $y = -0,3534x + 44,912$ ein hohes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,8633$ und entsprach damit dem Verlauf des Astrand Ryhming Nomogramms. In der Altersgruppe bis 45 Jahre lag die aerobe Kapazität bei 30 ml/min/kg und zeigt durchschnittliche Ergebnisse. In der Altersgruppe zwischen 46. und 59. Lebensjahr zeigte die aerobe Kapazität einen Belastungswert von 27 ml/min/kg an, was wiederum durchschnittliche Belastbarkeit widerspiegelt. In der Altersgruppe ab dem 60. Lebensjahr erreichte die aerobe Kapazität einen Wert von 22 ml/min/kg, was in der Analogie des Astrand Ryhming Nomogramm als durchschnittlich betrachtet werden muss, da das Nomogramm in der Altersgruppe mit über 50 Jahre endet.

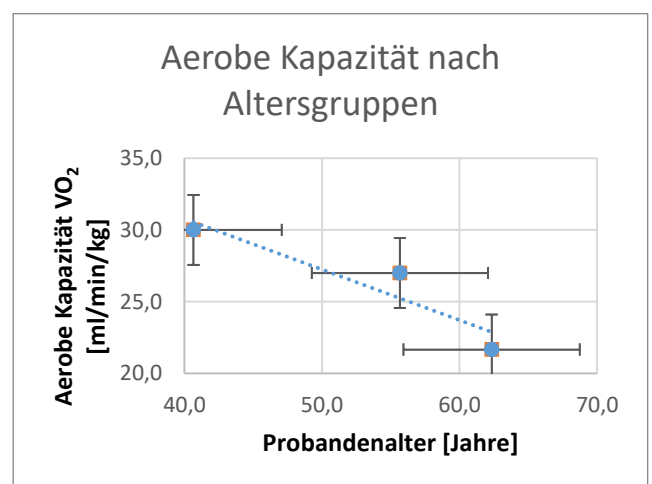


Abbildung 3: Aerobe Kapazität unterteilt nach Altersgruppen (<45 Jahre, 46-59 Jahre, > 60 Jahre) mit Fehlerindikator

Vergleicht man die maximale Herzfrequenz und die maximale aerobe Kapazität ergaben sich die in Abbildung 4 aufgezeigten Korrelationen. Da die Bestimmung der maximalen Herzfrequenz der Formel 1 folgt, ist die Bestimmung der maximalen aeroben

Kapazität altersunabhängig und verläuft als Exponentialgleichung ($y = 81,146e^{-0,013x}$) mit $R^2 = 0,4265$. In der altersentsprechenden Korrelation zwischen Alter und der aeroben Kapazität bei 80% der maximalen Herzfrequenz zeigte sich eine logarithmische Funktion mit der Formel $y = -19,7\ln(x) + 104,08$ und ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,5033$. Vier der Probanden lagen über dem Kurvenverlauf und drei Probanden unterhalb des Kurvenverlaufes. Zwei Probanden entsprachen den Werten aus dem kalkulierten Kurvenverlauf. In der Betrachtung von Altersverteilung und maximaler kalkulierter aerobe Kapazität zeigte sich ebenfalls ein logarithmischer Verlauf mit der Funktion $y = -26,64\ln(x) + 147,8$ und einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,4289$. Zwischen der maximalen Herzfrequenz und der aeroben Kapazität besteht eine gute Korrelation in der

probandengruppe der Schiffszärzte (Person $=0,84$) (Abb. 4).

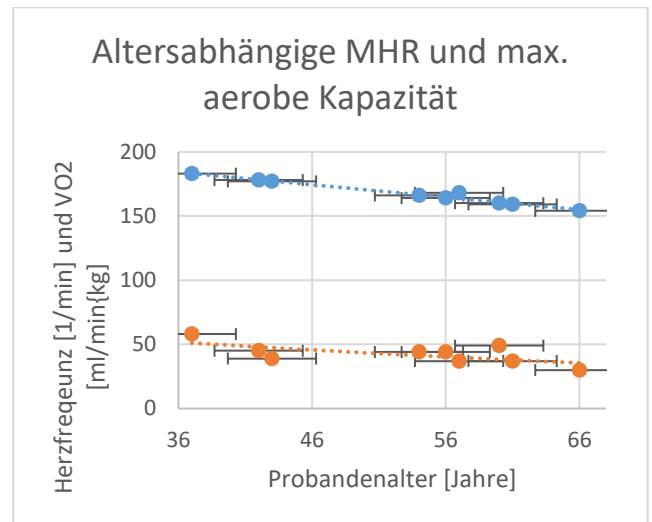


Abbildung 4: Korrelation der Maximalen Herzfrequenz (MHR) und der aeroben Kapazität mit Fehlerindikator

Zusammenfassung

In der Darstellung der Maximalen Herzfrequenz (MHR) und dem Alter zeigte sich ein hohes Bestimmtheitsmaß mit 0,972. Im Vergleich von Alter und maximal möglicher aeroben Kapazität zeigte sich eine exponentielle Korrelation mit der Funktion $y=81,146 e^{-0,013x}$ und ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,426$. Bei vier Probanden lag eine höhere Belastungsgrenze vor. Bei einem Probanden lag eine geringere Belastungsgrenze vor. Drei Probanden entsprachen ihrer maximal möglichen Belastungsgrenze, ausgehend nach der Kalkulation des Astrand Ryhming Nomogramm.

Fazit für die Praxis

Mit Hilfe des Chester Step Testes und dem Astrand Ryhming Nomogramm ließ sich ein einfacher, valider und reliabler Test zur kardiopulmonalen Belastbarkeit durch Bestimmung der aeroben Kapazität mit Bordmitteln durchführen. Dabei zeigte sich, dass die aerobe Kapazität eines Probanden, pro Kilogramm Körpergewicht und Minute, ein gutes Maß für die körperliche Kondition von Schiffszärzten ist und altersunabhängig verlief.

Literatur

- [1] Åstrand, Per-Olof and Irma Ryhming. "A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work." *Journal of applied physiology* 7 2 (1954): 218-21.
- [2] J P Buckley, J Sim, R G Eston, R Hession, R Fox. Reliability and validity of measures taken during the Chester step test to predict aerobic power and to prescribe aerobic exercise. *Br J Sports Med* 2004;38:197–205. 10.1136/bjsm.2003.005389
- [3] Albane B.R. Maggio, Vuistiner P, Antoinette Crettenand et al. Adapting the "Chester step test" to predict peak oxygen uptake in children. *Swiss Med Wkly.* 2017;147:w14435. 10.4414/smw.2017.14435
- [4] Saremi, Mahnaz & Khayati, Fatemeh & mousavi, fatemeh. (2018). Validity and reliability of the Chester step test for prediction of the aerobic capacity among Iranian students. *Journal of Occupational Health and Epidemiology.* 7. 10.29252/johe.7.1.37.

- [5] Reed, J. L., Cotie, L. M., Cole, C. A., Harris, J., Moran, B., Scott, K., Pipe, A. L. (2019). Submaximal exercise testing in cardiovascular rehabilitation settings (BEST study). *Frontiers in Physiology*, 10.10.3389/fphys.2019.01517
- [6] Sykes, K. (2005). Capacity assessment in the workplace: A new step test. *Occupational Health*.47(1), 20-22.
- [7] Sykes, K. (1995). Time Fire Service stepped up to a new fitness test. *Fire* 88,1082, Aug.
- [8] Maritime-Medizin-Verordnung vom 14. August 2014 (BGBl. I S. 1383), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 12. Mai 2022 (BGBl. I S. 777) geändert worden ist