

Die präventivmedizinische Aussage der Herzfrequenz bei verschiedenartig trainierten Jugendlichen im Leistungsexperiment

J. Buchberger

Artikel eingegangen am 2. April 1971

Zusammenfassung

Die Herzfrequenz bei verschiedenartig trainierten 14jährigen Jugendlichen wurde während einer vierstufigen ergometrischen Belastung elektrokardiographisch untersucht. Auswertungsprobleme der Kreislaufadaptation wurden diskutiert und einige methodische Regelungen vorgeschlagen. Die Herzfrequenz wurde bei Belastungen von 900 kpm/min, 500 kpm/min und 10 kpm/min pro kg Körpergewicht ausgewertet. Es zeigte sich ein auffallender Effekt des Schwimmens und der Leichtathletik bei Knaben und Mädchen im Gegensatz zur ganz geringen Wirkung der Gymnastik.

Die günstige Auswirkung des Sportes auf den jugendlichen Organismus ist allgemein bekannt. Weniger bekannt sind bisher die biologischen Adaptationsunterschiede als Folge der verschiedenen Trainingsarten im Jugendalter, welche die vorliegende Arbeit einigermaßen beleuchten möchte. Die meisten Leistungsprüfungen beruhen auf der Reaktion der Pulsfrequenz. Sie weisen aber in der Praxis gewisse Schwächen auf. Die Herzfrequenz wird oft nur palpatorisch und erst in der Erholungsphase beurteilt, und die Leistung ist oft unpräzise dosiert. In dieser Untersuchung wurde die fahrradergometrische Belastung mit EKG-Registrierung angewendet.

Material und Methode

Die Untersuchung wurde bei 14jährigen Jugendlichen ausgeführt, welche nach Geschlecht und der betriebenen Trainingsart in 7 Gruppen, entsprechend der Tab. 1 eingeteilt waren: 5 Gruppen wurden von Knaben oder Mädchen gebildet, die im Unterrichtsprogramm einer Spezialschule während 2 bis 3 Jahren wöchentlich 9 bis 10 Stunden verschiedenes spezialisiertes Training betrieben hatten; 2 Kontrollgruppen bestanden aus Schülern und Schülerinnen, die bloß 2 Stunden wöchentlich im obligatorischen Turnunterricht geübt hatten, sonst aber gesund waren.

Die Arbeitsbelastung durch Treten auf einem elektromagnetisch gebremsten Fahrradergo-

meter wurde so ausgeführt, daß jedes Individuum 3 submaximale Belastungen für die Dauer von 6 Minuten und 1 maximale von 3 bis 6 Minuten auszuhalten hatte. Die Belastungen wurden unter Berücksichtigung der individuellen physischen Leistungsfähigkeit und der Pulsfrequenz im Vorversuch gewählt. Auf diese Weise wurde die Größe der Belastungen auf 1 kg Körpergewicht folgendermaßen abgegrenzt: 1 = 6 kpm/min (1 W), 2 = 9–12 kpm/min (1,5–2 W), 3 = 12–18 kpm/min (2–3 W), 4 (max.) = 22–34 kpm/min (3,5–5,5 W). Die einzelnen Belastungen waren durch Pausen von 1 bis 2 Minuten getrennt. Die Tretfrequenz = 60/min gab ein Metronom an. Die Herzfrequenz wurde während der Belastungen mehrmals elektrokardiographisch registriert und im «steady state» (in den letzten 30 Sekunden) beurteilt. Die graphische Bestimmung der Herzfrequenzwerte bei einer gegebenen Belastung (500 oder 900 kpm/min) geschah mit Hilfe einer Interpolationsgeraden.

Ergebnisse

Die festgestellten Herzfrequenzwerte sind in den Tab. 1 und 2 zusammengestellt und statistisch bearbeitet. Die Tab. 1 gibt die den konventionell gewählten Belastungen von 900 kpm/min (147 W), 500 kpm/min (86 W) und 10 kpm/min (1,6 W) auf 1 kg Körpergewicht entsprechende Herzfrequenz an. Die Herzfrequenz bei 900 kpm/min ist einerseits durch ihre individuellen Maximalwerte limitiert, andererseits ist sie, falls ihr Maximalwert einer niedrigeren Belastung entspricht, durch Extrapolation ermittelt. In Abb. 1 ist die Herzfrequenz als Funktion der Belastung dargestellt.

Die maximale Herzfrequenz erreicht bei allen untersuchten Gruppen im Durchschnitt annähernd gleiche, aber kaum tatsächlich höchstmögliche Werte.

Die einer Leistung von 900 kpm/min oder 500 kpm/min oder 10 kpm/min pro kg Körperge-

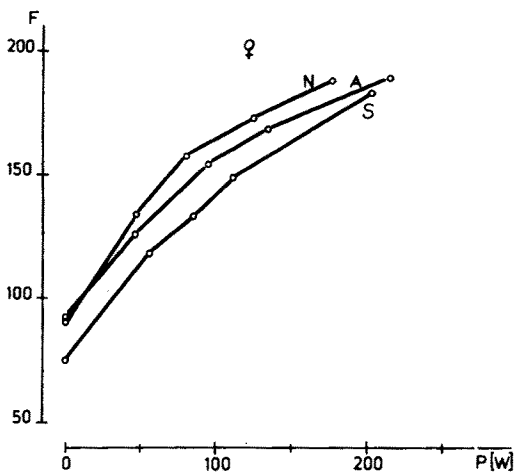
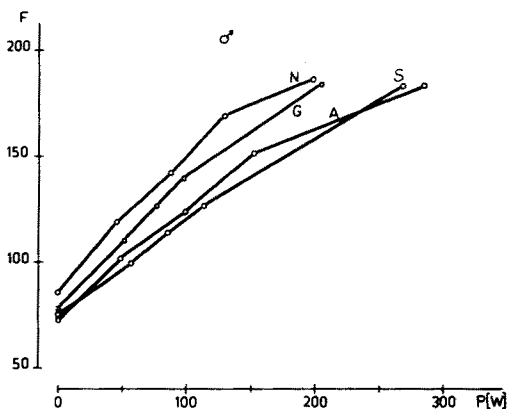
Tab. 1 Die Herzfrequenz bei verschiedenartig trainierten Jugendlichen entsprechend der maximalen Belastung und den submaximalen von 900 kpm/min, 500 kpm/min und 10 kpm/min pro kg Körpergewicht. Bei 900 kpm/min ist die Herzfrequenz einerseits durch ihre maximalen Realwerte limitiert, andererseits ist sie extrapoliert. Angegeben sind das arithmetische Mittel, die Standardabweichung und der 95 %-Variationsbereich.

	HF _{max}	HF _{900 kpm/min} lim. durch max.	HF _{900 kpm/min} extrapoliert	HF _{500 kpm/min}	HF _{10 kpm/min/kg}
Schwimmer n = 16	185,4 7,9 (170–201)	142,9 17,3 (109–177)	142,9 17,3 (109–177)	112,4 14,4 (84–141)	117,3 11,2 (95–140)
Athleten n = 26	183,3 7,6 (168–199)	148,1 15,9 (116–180)	149,8 16,4 (117–183)	117,4 11,6 (94–141)	118,7 10,2 (98–139)
Turner n = 15	183,0 6,7 (172–196)	165,3 12,7 (140–191)	166,1 12,8 (140–192)	128,6 9,5 (110–148)	129,2 6,2 (116–142)
Nichtsportler n = 14	186,9 6,9 (173–201)	172,7 16,4 (140–205)	184,3 22,3 (140–229)	140,4 17,6 (106–175)	138,5 16,4 (106–171)
Schwimmerinnen n = 16	183,0 10,7 (162–204)	173,8 15,6 (143–205)	176,1 17,0 (142–210)	133,8 13,1 (108–160)	138,3 10,4 (117–160)
Athletinnen n = 12	188,8 6,3 (176–201)	178,8 10,9 (157–201)	180,1 10,9 (158–202)	145,5 11,1 (123–168)	147,5 12,3 (123–172)
Nichtsportlerinnen n = 16	187,8 6,7 (174–201)	185,4 7,9 (170–201)	192,5 10,6 (171–214)	154,0 10,8 (132–176)	152,9 10,8 (131–175)

Tab. 2 Statistische Signifikanz der Unterschiede der Herzfrequenzreaktion zwischen einzelnen verschiedenartig trainierten Jugendgruppen. Angegeben die Begrenzung der P-Werte.

	HF _{max}	HF _{900 kpm/min} lim. durch max.	HF _{900 kpm/min} extrapoliert	HF _{500 kpm/min}	HF _{10 kpm/min/kg}
Schwimmer – Athleten	P > 0,10	P > 0,10	P > 0,10	P > 0,10	P > 0,10
Schwimmer – Turner	P > 0,10	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Schwimmer – Nichtsportler	P > 0,10	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Athleten – Turner	P > 0,10	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Athleten – Nichtsportler	P > 0,10	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Turner – Nichtsportler	P > 0,10	P > 0,10	P < 0,02 > 0,01	P < 0,05 > 0,02	P < 0,10 > 0,05
Schwimmerinnen – Athletinnen	P < 0,10 > 0,05	P > 0,10	P > 0,10	P < 0,05 > 0,02	P < 0,10 > 0,05
Schwimmerinnen – Nichtsportlerinnen	P > 0,10	P < 0,02 > 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Athletinnen – Nichtsportlerinnen	P > 0,10	P < 0,10 > 0,05	P < 0,05 > 0,02	P < 0,10 > 0,05	P > 0,10
Schwimmer – Schwimmerinnen	P > 0,10	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Athleten – Athletinnen	P < 0,05 > 0,02	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
Nichtsportler – Nichtsportlerinnen	P > 0,10	P < 0,02 > 0,01	P > 0,10	P < 0,05 > 0,02	P < 0,02 > 0,01

Abb. 1 Die Herzfrequenz als Funktion der Leistung bei verschiedenartig trainierten Jugendlichen (S = Schwimmer, A = Leichtathleten, G = Gymnasten, N = Nichtsportler).



wicht entsprechende Herzfrequenz zeigt beim Vergleich der Gruppen dagegen erhebliche Unterschiede. Sie sind in vielen Fällen in bezug auf das Geschlecht und die betriebene Trainingsart hochsignifikant und vor allem zwischen den sporttreibenden und nicht-sporttreibenden Jugendlichen sehr auffallend. Die Turnergruppe steht jedoch trotz

dem intensiven systematischen Training in der Kreislaufadaptation den Nichtsportlern ganz nahe.

Bei weniger leistungsfähigen Jugendlichen und vor allem bei nichtsporttreibenden Mädchen entspricht die Herzfrequenz bei einer Leistung von 900 kpm/min derjenigen bei einer maximal möglichen Leistung, ähnlich wie bei jüngeren Kindern.

Der Pulsfrequenzunterschied zwischen dem niedrigsten und höchsten Durchschnittswert unserer Gruppen beträgt bei einer Leistung von 900 kpm/min 43 Schläge (30 %) und bei 500 kpm/min 42 Schläge (37 %), bei der maximalen Leistung dagegen nur 6 Schläge (3 %).

Diskussion

Wenn die Herzfrequenz als Funktion der Belastung dargestellt wird (Abb. 1), so ergibt sich eine nahezu lineare Beziehung. Es ist deshalb einfach, auch Pulsfrequenzwerte entsprechend den nicht geprüften Belastungen durch Interpolation zu bestimmen. Näher der maximalen Leistungen vermindert sich die Steilheit der durchschnittlichen Pulsfrequenzsteigerung, was auch bei der linearen Interpolation berücksichtigt werden muß.

Eine geringere Herzfrequenz bei einer gegebenen submaximalen Belastung zeigt im allgemeinen eine bessere Herzökonomie und damit auch eine bessere Kreislaufadaptation an. Daß ein systematisches gymnastisches Training eine so geringe Kreislaufadaptation bewirkt, ist einigermaßen überraschend. Es stimmt aber mit weiteren Ergebnissen (Buchberger, 1971), überein, welche andererseits eine deutliche Wirksamkeit des Schwimmens und der Leichtathletik belegen.

Innerhalb der einzelnen Gruppen findet sich keine Korrelation zwischen der maximalen Herzfrequenz und anderen studierten Funktionswerten, mit Ausnahme der einer Leistung von 900 kpm/min entsprechenden Herzfrequenz bei einigen Gruppen. Die Reaktion

der Herzfrequenz auf die submaximale Leistung korreliert auch innerhalb der einzelnen Gruppen mit anderen hier nicht bearbeiteten Funktionswerten der Kreislaufleistung (*Buchberger*, 1971).

Mit der verwendeten Belastung und Versuchsanordnung wird die maximal mögliche Pulsfrequenz offensichtlich nicht zuverlässig erreicht. Bei verschiedenen körperlichen Leistungen ließen sich im Jugendalter oft höhere Pulsfrequenzen feststellen. So fanden zum Beispiel *Morse et al.* (1949) bei 10- bis 17jährigen Knaben nach einem Streckenlauf eine durchschnittliche Herzfrequenz von 196/min ohne Altersunterschiede. Ganz ähnliche Werte teilte schon *Robinson* (1938) mit. *Astrand* (1952) stellte bei 14jährigen Knaben und Mädchen bei maximaler Leistung eine Pulsfrequenz von 203 und 202/min fest. *Christensen et al.* (1950) stellten bei 14- bis 16jährigen Knaben nach einem Skilauf im Durchschnitt sogar 240/min fest. So hohe Werte sind wahrscheinlich mit Vorsicht zu bewerten, besonders wenn die Messungen ohne objektive Registrierung erfolgt. *Seliger* (1967) stellte bei 13jährigen Knaben während eines 3-km-Skilaufes ein durchschnittliches Maximum von 188/min radiotelemetrisch fest. *Rozentlat* (1962) fand bei keiner Sportdisziplin mit Hilfe der Radiotelemetrie eine höhere Pulsfrequenz als 200/min.

Die absolut maximale experimentelle Arbeitsanstrengung bleibt immer einigermaßen problematisch. Schon deshalb ist die maximale Herzfrequenz als Funktionswert nicht verwertbar. Nach bestehenden Kenntnissen ist anzunehmen, daß die tatsächliche maximale Herzfrequenz von 14jährigen Jugendlichen bei nahezu 200/min liegt. Eine festgestellte durchschnittliche Pulsfrequenz von mehr als 210/min bedürfte auf alle Fälle einer sorgfältigen Prüfung. Die Kreislaufleistung bei sehr hohen Herzfrequenzen ist bisher nicht eindeutig abgeklärt. *Astrand* hält den Kreislauf bei Jugendlichen noch bei einer Frequenz

von 200/min für gut leistungsfähig. *Blecha* (1967) bemerkt das Typische der nutzlos hohen Herzfrequenz bei Kindern, wenn sich die Belastung dem individuellen Maximum nähert.

Als wertvoller Funktionswert gilt die Herzfrequenz entsprechend einer bestimmten submaximalen Belastung, in der Regel von 900 kpm/min (= 147 W). Bei 14jährigen Kindern (sowie auch bei jüngeren), vornehmlich bei Mädchen und Untrainierten, entspricht manchmal die Leistung von 900 kpm/min der maximal tolerierten Belastung. Dann sind die Unterschiede der Herzfrequenz bei 900 kpm/min zwischen unseren trainierten und untrainierten Mädchen weniger ausgeprägt. Diese Verzerrung kann man durch Verwendung von extrapolierten Herzfrequenzwerten beseitigen (s. Tab. 1, 3. Kolonne), welche auf der verlängerten Geraden der Pulsfrequenz als Funktion der Leistung oberhalb des Maximums liegen. Solche individuellen Werte sind selbstverständlich unreell.

Für Kinder von 12 bis 15 Jahren scheint es zweckmäßig, die Herzfrequenz nicht bei 900 kpm/min, sondern bei 500 kpm/min auszuwerten, da eine solche Belastung für diese Altersgruppe als typisch submaximale viel mehr gelten kann. Eine andere Lösung bietet die Bestimmung der Pulsfrequenz bei einer standardisierten Belastung mittels des Körpergewichtes, am besten 10 kpm/min pro kg (= 1,6 W pro kg). Dies könnte einen besseren Vergleich auch zwischen verschiedenen Alterskategorien ermöglichen.

Literatur

- Astrand P. O.*: Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. E. Munsgaard, Copenhagen 1952.
Blecha J.: Biologie dospivani. (Biologie des Heranwachsenden.) SZDN, Praha 1967.
Buchberger J.: Consommation d'oxygène chez des garçons et des filles entraînés selon divers modes. Médecine du sport 45, 41-47 (1971).
Buchberger J.: Die Beurteilung der physiologischen

Adaptation an die anstrengende physische Arbeit bei verschiedenartig trainierten Jugendlichen. (In Vorbereitung, 1971.)

Christensen E. H., Högberg P.: Physiology of skiing. *Arbeitsphysiol.* 14, 292–316 (1950).

Morse M., Schlutz F. W., Cassels D. E.: Relation of age to physiological responses of the older boys (10–17 years) to exercise. *J. appl. Physiol.* 1, 683–709 (1949).

Robinson S.: Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiol.* 10, 251–323 (1938).

Rozenblat V. V.: O castote serdecnych sokrascenij v

estestvenych uslovijach mysecnoj dejatel'nosti celoveka. (On the rate of cardiac contractions under natural conditions of muscle activity in humans.) *Fiziol. Z.* 48, 1454–1465 (1962).

Seliger V.: Energetický metabolismus u vybranych telesnych cviceni. (Energy metabolism in selected physical exercises.) UK, Praha 1967.

Adresse des Autors:

Dr. med. *J. Buchberger*, Physiologisches Institut der Universität Bern, Bühlplatz 5, 3012 Bern.