

Die sportliche Frau

Leistungsphysiologische Unterschiede zum Mann – Relevanz für die ärztliche Beratung

Lange Zeit wurden in der Sportmedizin leistungsphysiologische Erkenntnisse von untersuchten Männerpopulationen abgeleitet; in vielen Sportarten hatten Sportlerinnen eine Diskriminierung erfahren. Heute sind physiologische Unterschiede insbesondere bezüglich Herzfrequenz und Muskelleistung gesichert, die bei der medizinischen Betreuung zu beachten sind. Dieser Artikel resümiert aktuelle sportmedizinische Daten.

KUNO HOTTENROTT

Die Frauenleichtathletik schaffte es 1928, in das olympische Programm mit fünf Wettbewerben aufgenommen zu werden. Allerdings wurde der 800-m-Lauf bei den Olympischen Spielen 1928 in Amsterdam ein Fiasko. Nach dem Zieleinlauf kam es zu «Zusammenbrüchen» der zweit- und drittplatzierten Kanadierinnen. Obgleich eine der zusammengebrochenen Läuferinnen am nächsten Tag mit ihrer Staffel über 4 x 100 m Gold gewann, wurde von Sportfunktionären aufgrund der Zusammenbrüche beim 800-m-Lauf nach dem Zieleinlauf gefolgert, dass die Frau für Ausdauerleistungen im Sport nicht geschaffen sei. Im Olympiabuch zu den Olympischen Spielen in Los Angeles 1932 wird zitiert: «Nach Ansicht vieler sind die Anstrengungen eines solchen Laufs für den weiblichen Körper zu gross.»

Dies hatte zur Folge, dass Frauen zu Olympischen Spielen über 400 m und 800 m über 30 Jahre nicht mehr starten durften. Die Ausdauerleistungsfähigkeit der Frau konnte aber schliesslich zu den Olympischen Spielen 1984 beim Marathon unter Beweis gestellt werden. Die Benachteiligung der Frau im Sport

beruhte zum Teil auf leistungsphysiologischen Irrtümern; das «Hinlegen» der Athletinnen im Ziel aufgrund starker Laktatakkumulation ist ein typisches Verhalten bei starker Übersäuerung und kein lebensbedrohlicher Zusammenbruch.

Kardiopulmonale Leistungsdifferenzen

Unterschiede zwischen trainierten Frauen und Männern zeigen sich insbesondere im kardiopulmonalen System in Bezug auf Herzgrösse, Herzgewicht, Dicke der Herzkammern und Aortendurchmesser. Bei sehr gut trainierten Ausdauersportlerinnen und Ausdauersportlern wurden folgende Extremwerte, wie in *Tabelle 1* dargestellt, diagnostiziert (1).

Neben morphologischen und strukturellen Unterschieden zeigen sich auch regulatorische Unterschiede im Herz-Kreislauf-System. Frauen weisen im Allgemeinen aufgrund ihrer kleineren Herzgrösse eine höhere Herzfrequenz (HF) in Ruhe und während submaximaler Ausdauerbelastungen auf. Hottenrott und Neumann (2) konnten zeigen, dass bei gleicher muskulärer Stoffwechselbeanspruchung die HF der Frauen signifikant höher ist als bei Männern.

Dazu untersuchten sie im Abstand von drei Monaten 53 Männer (Alter: $41,9 \pm 4,9$ Jahre) und 38 Frauen (Alter: $40,7 \pm 4,3$ Jahre), die sich auf einen Marathonlauf vorbereiteten. Dabei zeigte sich in beiden Untersuchungen in der Regulation der HF ein signifikanter Geschlechtsunterschied in Bezug auf die muskuläre Stoffwechselbeanspruchung. Bei geringen bis mittleren Laktatkonzentrationen hatten die Frauen eine signifikant höhere HF. Der Unterschied betrug im Mittel 10 Schläge/min bei Laktat 2 mmol/l und 7 Schläge/min bei Laktat 4 mmol/l bei vergleichbarer maximaler HF von $182,6 \pm 9,7$ Schlägen/min bei den Frauen und $181,2 \pm 9,3$ Schlägen/min bei den Männern.

Merkpunkte

- **Die relative Herzfrequenz (%HFmax)** ist bei geringer bis mittlerer Intensität signifikant höher als bei Männern.
- **Die Muskulatur der Frau** hat eine niedrigere Anzahl von Mitochondrien pro Myofibrille sowie ein geringeres Mitochondrienvolumen, was die Ausdauerleistung begrenzt.
- **Bei Ausdauerbelastungen** haben Frauen eine höhere Fettoxidationsrate, einen geringeren Proteinkatabolismus sowie einen niedrigeren Kohlenhydratumsatz.
- **Die grössten geschlechtsspezifischen Differenzen im Sport** sind bei Schnellkraftleistungen zu messen, die geringsten beim Langstreckenschwimmen.

In den bis dato verwendeten Formeln zur Steuerung der Trainingsbelastung über HF-Vorgaben wurde diese Geschlechtsspezifität der HF-Regulation nicht berücksichtigt. Hottenrott und Neumann (3) haben unter Einbezug weiterer Studienergebnisse in der Folge eine Herzfrequenzformel entwickelt, die auf der Basis der maximalen Herzfrequenz (HFmax) unter Einbezug von Geschlecht (GF), Leistungsfähigkeit (LF), Trainingsziel (TZ) und Sportart (SP) Empfehlungen für Trainingsherzfrequenzen berechnet. Die Herzfrequenzformel für das Training in Ausdauersportarten lautet:

$$THF = HF_{max} \times 0,70 \times LF \times TZ \times GF \times SP.$$

Das Programm dazu ist unter www.pulseadviser.de zu finden.

Parameter maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max)

Neben der HF respektive dem Herzvolumen ist die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) ein repräsentativer Parameter für die Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems und eine international anerkannte Referenzgrösse zur Beschreibung der gewählten Belastungsintensität im Sport. Vor der Pubertät gibt es in der VO₂max keine Geschlechtsdifferenzen (3). Mädchen und Jungen im Alter von 8 bis 12 Jahren haben eine durchschnittliche VO₂max von etwa 40 ml/min pro kg Körpergewicht. Nach der Pubertät und mit Beginn des Erwachsenenalters liegt die maximale Sauerstoffaufnahme der Männer über der gleichaltriger Frauen. Nach Fredriksen und Kollegen (5) haben junge Männer eine um zirka 35% höhere absolute VO₂max, und auch Armstrong (6) weist mit 33% ähnliche Differenzen zwischen den Geschlechtern nach. Bei der relativen VO₂max werden in älteren Publikationen geschlechtsspezifische Unterschiede von bis zu 30% aufgeführt (7). Das war der Zeitraum, wo Frauen an Ausdauerwettkämpfen nicht oder nur in wenigen Disziplinen teilnehmen konnten. Entsprechend niedrig waren die Adaptationen im kardiopulmonalen System. Gegenwärtig ist der Geschlechtsunterschied in der VO₂max geringer und beträgt in vielen Sportarten 10 bis 15%. In der Literatur werden Höchstwerte der VO₂max von über 75 ml/min/kg bei den Frauen und über 90 ml/min/kg bei den Männern mitgeteilt (8). Die niedrige aerobe Leistungsfähigkeit der Frau gegenüber dem Mann kommt auch in der Sauerstofftransportkapazität, beurteilt am Hämoglobin (Hb), zum Ausdruck. Durchschnittliche Hb-Werte der Männer liegen bei 15,5 g/dl (14–17 g/dl) und jene der Frauen bei 13,8 g/dl (12–16 g/dl). Eine Abnahme der Hb-Konzentration im Blut vermindert die Sauerstofftransportkapazität und die Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Abnahme des Hämoglobins um 0,1% führt zu einer Verminderung der VO₂max um 1%. Eine Abnahme des Hb-Werts eines Ausdauersportlers von 15,5 auf 14,0 g/dl führt zu einem Leistungsverlust von etwa 5% (9).

Tabelle 1:

Echokardiografische Extremwerte beim Sporthertz von Sportlerinnen und Sportlern

	Ausdauersportler	Ausdauersportlerinnen
Herzwanddicke (mm)	14	11
Linke Herzkammer (mm)	65	58
Rechte Herzkammer (mm)	35	28
Absolut grösstes Herzvolumen (ml)	1450	1150
Absolut grösstes relatives Herzvolumen (ml/kg)	20	18
Linksventrikuläre Muskelmasse (g)	300	200

Muskelzelluläre Leistungsdifferenzen

Muskelbiopsische Untersuchungen von Hoppeler (10) belegten erstmalig, dass es in den mitochondrialen Strukturen deutlich Geschlechtsdifferenzen gibt. Die Muskeln der Frauen wiesen im Vergleich zu den Männern weniger Mitochondrien pro Myofibrille und ein geringeres Mitochondrienvolumen von etwa 22% auf. Die niedrigeren Ausdauerleistungen der Frauen sind darauf mit zurückzuführen. Die Muskelkraft ist abhängig vom Durchmesser der Muskelfasern. Repräsentative muskelbiopsische Befunde von 21 Mittelstreckenläufern und 13 Mittelstreckenläuferinnen wiesen aus, dass der Muskelfaserdurchmesser der Frauen deutlich kleiner war als derjenige der Männer (11). Bei den Läufern betrug die Muskelfaserfläche 7040 µm² und bei den Läuferinnen 5440 µm². Ferner hatten die Läufer eine höhere Aktivität der Citratsynthetase (CS) und der Phosphoglyzeratkinase (PGK) gegenüber den Läuferinnen. Die Aktivität der CS betrug 25 respektive 21 I.E. und der PGK 193 respektive 164 I.E. Hingegen wiesen die Läuferinnen eine grössere Substratkonzentration der intramuskulären Triglyzeride (ITG) auf (Läuferinnen: 7,3 mg/100 g FG bzw. Läufer: 4,4 mg/100 g FG). Der höhere Fettgehalt in den Muskelfasern und der daraus resultierende höhere Fettsatz der Frauen bei Belastung wurde in nachfolgenden Untersuchungen mehrfach bestätigt (12, 13).

Hormonelle und metabolische Geschlechtsdifferenzen

Die Geschlechtsdifferenzen wurden bisher nur im Hormonhaushalt akzeptiert und nicht die Folgen auf den Metabolismus. Inzwischen liegen sichere Daten vor, die belegen, dass bei sportlicher Belastung die Frau einen grösseren Abbau der Fette aufweist, einen niedrigeren Proteinabbau (Leucinoxydation) hat und weniger Kohlenhydrate verstoffwechselt als der Mann (14, 15). Da die Frau über mehr Östrogene und weniger Testosteron als der Mann verfügt, hat das

Tabelle 2:

Aktuelle Weltrekorde von Frauen und Männern bei ausgewählten olympischen und nicht olympischen Laufdisziplinen der Leichtathletik (Freiluft)

(Stand 04/2015)

Disziplin	Männer	Frauen	Differenz (%)
800 m	1:40,91 min (2012)	1:53,28 min (1983)	12,3
1500 m	3:26,00 min (1998)	3:50,46 min (1993)	11,9
5000 m	12:37,35 min (2004)	14:11,15 min (2008)	11,2
10 000 m	26:17,53 min (2005)	29:31,78 min (1993)	12,3
Halbmarathon	58:23 min (2010)	1:05:09 h (2014)	11,6
Marathon	2:02:57 h (2014)	2:15:25 h (2003)	10,1
Lauf-Gesamtdifferenz 11,6%			

Tabelle 3:

Aktuelle Weltrekorde von Frauen und Männern in den Sprungdisziplinen der Leichtathletik (Freiluft)

(Stand 04/2015)

Disziplin	Männer	Frauen	Differenz (%)
Hochsprung	2,45 m (1993)	2,09 m (1987)	16,3
Weitsprung	8,95 m (1991)	7,52 m (1988)	19,0
Dreisprung	18,29 m (1995)	15,50 m (1995)	18,0
Stabhochsprung	6,16 m (2014)	5,06 m (2009)	21,7
Sprung-Gesamtdifferenz 18,8%			

Tabelle 4:

Aktuelle Weltrekorde von Frauen und Männern in den Schwimmdisziplinen (50-m-Becken)

(Stand 04/2015)

Schwimmstrecken	Frauen	Männer	Differenz (%)
50 m Freistil (F)	23,73 s (2009)	20,91 s (2008)	13,5
100 m F	52,07 s (2009)	46,91 s (2009)	11,0
200 m F	1:52,98 min (2007)	1:42,0 min (2009)	10,8
400 m F	3:59,38 min (2014)	3:40,07 min (2009)	8,8
800 m F	8:11,00 min (2014)	7:32,12 min (2008)	8,6
1500 m F	15:19,71 min (2014)	14:31,02 min (2012)	5,6
Schwimmen-Gesamtdifferenz 9,7 %			

auch Auswirkungen auf den Stoffwechsel. Der verminderte Proteinkatabolismus und die geringere Kohlenhydratoxidation der Frau während der Belastung sowie der erhöhte Fettstoffwechsel gehen auf den höheren Östrogengehalt gegenüber dem Mann im Organismus zurück (16). Die Autoren bestätigten diese geschlechtsspezifische Stoffwechselregulation, indem sie Männern Östrogene supplementierten. Dadurch sank ihr Kohlenhydratabbau und ihr Proteinabbau während der Belastung, und die Fettoxidation stieg an.

Die grosse Differenz in der Testosteronkonzentration ist für die verminderte Muskelkraft der Frau verantwortlich. Gleichzeitig ist die verminderte Testosteron-

verfügbarkeit dafür mitverantwortlich, dass die Frau grössere intramuskuläre und subkutane Fettspeicher aufweist. Der Geschlechtsdimorphismus in der Regulation der Fettoxidation ist aber noch von weiteren Hormonen abhängig, so vom Niveau weiter differenzierbarer Geschlechtshormone (17), von den Katecholaminen (18), von der Muskelfaserverteilung (19), von der adrenergen Regulation der Fettsäurefreisetzung sowie der vom Ausdauertraining abhängigen Aktivität der hormonsensitiven Lipase (20). Bei Langzeitbelastungen haben Läuferinnen eine höhere Fettoxidationsrate und einen geringeren Proteinkatabolismus als Männer (21).

Sportliche Leistungsdifferenzen

Im Schwimmsport und in den leichtathletischen Lauf- und Sprungdisziplinen lassen sich geschlechtsbedingte Leistungsdifferenzen eindeutig belegen.

Zu Beginn der Sechzigerjahre betrug der Leistungsrückstand der Frauen in den Laufsportarten von 100-m-Lauf bis Marathon 25 bis 30%. Untersuchungen bei Läufern auf Distanzen von 1500 m bis Marathon ergaben, dass die 100 weltbesten Frauen und Männer über 10 Jahre eine konstante Leistungsdifferenz aufwiesen. Die Leistungsdifferenz betrug beim 100-m-Lauf $11,1 \pm 1,1\%$ und beim Marathonlauf $11,2 \pm 0,9\%$. Im Durchschnitt waren die 100 weltbesten Frauen über 1500 m 46 s und über die Marathondistanz 16 min langsamer als die Männer. Diese Daten stimmen weitgehend mit dem Vergleich der aktuellen Weltrekorde überein, die eine geschlechtsspezifische Differenz bei Läufen von 800 m bis Marathon von 11,6% ergaben (Tabelle 2). Die geschlechtsspezifische Leistungsdifferenz ist in den leichtathletischen Sprintdisziplinen um 1,5% geringer als bei den Mittel- und Langstrecken.

Deutlich grösser sind die geschlechtsspezifischen Differenzen bei den Schnellkraftleistungen (Tabelle 3). Die höhere Leistungsdifferenz von knapp 22% im Stabhochsprung könnte mit einem trainingsmethodischen Rückstand der Frauen erklärt werden. Erst 1999 durften Frauen an Weltmeisterschaften im Stabhochsprung teilnehmen, während die ersten Stabhochsprungwettbewerbe der Männer bereits um 1850 registriert sind.

Im Schwimmen sind die geschlechtsbedingten Leistungsunterschiede etwas geringer als beim leichtathletischen Lauf, wobei mit zunehmender Schwimmstreckenlänge die Leistungsdifferenzen zwischen Männern und Frauen deutlich kleiner werden und bei 1500 m Freistil nur 5,6% betragen (Tabelle 4).

Zusammenfassung

Die ausdauertrainierte Frau hat deutlich höhere intramuskuläre und subkutane Fettspeicher als der Mann. Die oxidative Kapazität der Sportlerinnen ist gegenüber den Sportlern derselben Sportart um etwa 10

bis 15% niedriger. Bei submaximalen Ausdauerbelastungen weisen die Sportlerinnen eine höhere Herzfrequenz, eine höhere Fettoxidationsrate, einen geringeren Proteinkatabolismus sowie einen niedrigeren Kohlenhydratumsatz auf. Die Testosteronkonzentration der Frau ist 10- bis 20-mal niedriger, die Östrogenkonzentration zyklusabhängig 5- bis 15-mal höher als beim Mann. Der männliche Ausdauersportler weist gegenüber der Sportlerin eine höhere Kraft- und Schnellkraftausdauer auf. Der geschlechtsspezifische Leistungsunterschied beträgt durchschnittlich 10% bei den Ausdauersportarten und 15 bis 20% bei den Schnellkraftsportarten zu Ungunsten der Sportlerin. Die leistungsphysiologischen, metabolen und hormonellen Unterschiede zwischen Frauen und Männern müssen bei der Trainingsgestaltung, das heisst bei der Festlegung von Umfang und Intensität sowie der Periodisierung des Trainings, Berücksichtigung finden. ■



Prof. Dr. phil. Kuno Hottenrott
 Leiter des Arbeitsbereichs
 Sportmedizin und Trainingswissenschaft
 Direktor des Instituts für Leistungsdiagnostik
 und Gesundheitsförderung (ILUG)
 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 D-06120 Halle/Saale
 E-Mail: kuno.hottenrott@sport.uni-halle.de

Interessenkonflikt: Es besteht kein Interessenkonflikt.

Quellen:

1. Berbalk A.: Echokardiographische Studie zum Sporthler der Ausdauerathleten. *Z Angew Trainingswiss* 1997; 4: 6-36.
2. Hottenrott K, Neumann G.: Geschlechtsspezifität der Trainingsherzfrequenz bei Ausdauerbelastungen. *Dtsch Z Sportmed* 2007; 58, 274.
3. Hottenrott K, Neumann G.: Geschlechtsspezifische Formel für optimale Trainingsherzfrequenzen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie* 2012; 60 (3), 202-205.

4. Åstrand PO, Rodahl K.: *Textbook of Work Physiology*. 3rd. ed. New York 1986.
5. Fredriksen PM, Ingjer F, Nystad W, Thaulow E.: A comparison of VO₂peak between patients with congenital heart disease and healthy subjects, all aged 8-17 years. *Eur J Appl Physiol* 1999; 80 (5): 409-416.
6. Armstrong N, Welsma JR.: Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *Eur J Appl Physiol* 2001; 85 (6), 546-551.
7. Saltin B, Åstrand PO.: Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 1967; 23, 353-358.
8. Wilmore JH, Costill DL.: *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign IL, Human Kinetics 1994.
9. Gledhill N.: Hämoglobin, Blutvolumen, Ausdauer. In: Shephardt RJ, Åstrand PO (Hrsg.): *Ausdauer und Sport*. Köln. 1993.
10. Hoppeler H, Lüthi P, Claassen H, Weibel ER, Howald H.: The ultrastructure of the normal human skeletal muscle. A morphometric analysis on untrained men, women and well-trained orientiers. *Pflügers Archiv* 1973; 344, 217-232.
11. Neumann G, Buhl H.: Biologische Leistungsvoraussetzungen und trainingsphysiologische Aspekte bei trainierenden Frauen. *Med. Sport*. Berlin. 1981: 154-160.
12. Steffensen CH, Roepstorff C, Madsen M, Kiens B.: Myocellular triacylglycerol breakdown in females but not in males during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2002; 278, E634-E642-E6xerc.
13. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE.: Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J. Appl. Physiol.* 2004; 98, 160-167.
14. Nielsen S, Guo Z, Albu JB, et al.: Energy expenditure, sex, and endogenous fuel availability in humans. *J. Clin. Invest.* 2003; 111: 981-988.
15. Hamadeh MJ, Devries CM, et al.: Estrogen supplementation reduces whole body leucine and carbohydrate oxidation and increases lipid oxidation in men during endurance exercise. *J. Clin. Endocrinol & Metab.* 2005; 90, 3592-3599.
16. D'Eon TM, Sharoff C, Chipkin SR, et al.: Regulation of exercise carbohydrate metabolism by estrogen and progesterone in women. *Am. J. Physiol Endocrinol. Metab.* 2002; 283, E1046-E1055.
17. Horten TJ, Pagliassotti MJ, et al.: Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J. Appl. Physiol.* 1998; 85, 1823-1832.
18. Steffensen CH, Roepstorff C, Madsen M, Kiens B.: Myocellular triacylglycerol breakdown in females but not in males during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2002; 278, E634-E642-E6xerc.
19. Langfort J, Ploug T, Ihlemann J, Saldo M et al.: Expression of hormone-sensitive lipase and its regulation by adrenalinin skeletal muscle. *Biochem. J.* 1999; 340, 459-465.
20. McKenzie S, Phillips SM, Carter SL et al.: Endurance exercise training attenuates leucine oxidation and BCOASD activation during exercise humans. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2000; 278, E580-E587.
21. Sparling PB, O'Donnell EM, Snow TK.: The gender difference in distance running performance has plateaued: a analysis of world rankings from 1980-1996. *Med. Sports. Exerc.* 1998; 30, 1725-1729.