

T Horstmann^{1,2}, Roecker K¹, Vornholt S¹, Niess AM¹, Heitkamp HC¹, Dickhuth HH¹

Konditionelle Defizite bei Coxarthrose- und Hüftendoprothesen – Patienten

Deficits of performance in hip osteoarthritis and endoprosthesis patients

1 Abteilung Sportmedizin, Medizinische Klinik und Poliklinik der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

2 Orthopädische Klinik und Poliklinik der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Zusammenfassung

Eine zunehmende Schwere der Hüftarthrose und ihre funktionelle Einschränkung bedingen eine vermehrte Bewegungsarmut, die zur muskulären Dekonditionierung führt. Diese beeinflusst wiederum wesentlich den Herz-Kreislauf-Antrieb. Um die Bedeutung der Operation und der wiedererlangten Mobilität auf die muskuläre Rekonditionierung zu überprüfen, wurde in der vorliegenden Untersuchung neben der Herzfrequenz das prä- und postoperative Verhalten der Laktatleistungskurve im Vergleich zu Normalpersonen untersucht.

55 Hüftarthrose-Patienten direkt vor und 6 Monate nach Implantation einer Hüfttotalendoprothese, sowie 24 altersgematchte Probanden wurden mittels Laufbandergometrie bei 3 km/h und zunehmender Steigung bis 15% belastet. Die Herzfrequenz und das Laktatverhalten wurden in Ruhe, alle 2 Minuten und nach Belastung ermittelt.

Die Ruhe- und vor allem Belastungsherzfrequenzen der Patienten lagen vor der Operation signifikant mit mehr als 20 Schlägen/min oberhalb der Normpersonen. Nach der Operation trat nur ein geringer Abfall ein. Das Laktat stieg bei der Normgruppe während oder nach der Belastung nicht an, bei den Patienten bis auf maximal 3,1 mmol/l, wobei die Belastungen bei 13,3 % Steigung vor und 14,2 % Steigung nach der Operation abgebrochen wurden.

Eine deutliche Einschränkung der konditionellen maximalen und submaximalen Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit liegt präoperativ vor und bleibt trotz erkennbarer Verbesserung postoperativ weit von einer Normalisierung entfernt. Ein Anstieg der lokalen aeroben Kapazität, Azidotoleranz und Kraftausdauer ist aber unbedingt wünschenswert, um eine Ökonomisierung der Belastung im alltäglichen Bereich zu erreichen. Neben der gängigen symptomorientierten Therapie der Coxarthrose werden daher spezielle sporttherapeutische Maßnahmen gefordert.

Schlüsselwörter: Herzfrequenz, Laktat, submaximale Leistung

Einleitung

Die zunehmende Bewegungsarmut der Coxarthrotiker führt zur allgemeinen Dekonditionierung (1, 15, 20, 29). Die Schwere der kardiovaskulären Dekonditionierung korreliert bei Arthrosepatienten mit der Schwere der Arthrose und der funktionellen Einschränkung (22).

Summary

Increasing severity of osteoarthritis and functional limitations cause an increased reduction of movement, which leads to muscular deconditioning. This mainly influences the cardiovascular stimulus. In order to investigate the importance of the operation and restored mobility on muscular reconditioning, the pre- and postoperative heart rate and especially the behaviour of the lactate performance curves were examined compared to those of normal persons in the present study.

55 osteoarthritis hip patients were examined directly before, and 6 months after implantation of a total hip endoprosthesis. They exercised on a treadmill at 3 km/h with an increasing slope up to 15 %. The control group consisted of 24 age-matched subjects. Heart rate and lactate behaviour were determined at rest, every 2 minutes and after exercise.

The patients' heart rate at rest and especially during exercise were significantly above those of normal persons before surgery, by more than 20 beats/minute. After surgery, there was only a slight decrease. Lactate remained constant in the normal group during and after exercise. Lactate in the patient group increased to maximum of 3.1 mmol/L, whereby exercise was terminated at an inclination of 13.3 % before- and 14.2 % after surgery.

A clear limitation of maximum and submaximum performance capacity and exercise capacity was present prior to surgery and remains far from normalisation, despite recognisable improvement. An increase in local aerobic capacity, acidosis tolerance and strength endurance is, however, absolutely desirable in order to attain economisation of stress in everyday living. In addition to the usual symptom-oriented therapy of hip osteoarthritis, special sports-therapeutic measures are therefore demanded.

Key words: heart rate, lactate, submaximal work capacity

Übergewicht, sympathische Aktivierung, sowie erhöhtes Risiko für Diabetes mellitus, Hypertonie, koronare Herzkrankheit und damit erhöhtes perioperatives Risiko sind die Folgen (4, 7, 18, 19). Die konservativ-medikamentöse Behandlung von Coxarthrotikern alleine kann dieses Defizit im Vergleich zur Operation nicht beheben (23). Mit der Implantation einer Hüfttotalprothese wird die mechanische Voraus-

setzung für ein schmerzfreies Gehen und Bewegen geschaffen. Dies ermöglicht es dem Patienten, den zuvor bestehenden Bewegungsmangel auszugleichen. Bei untrainierten Patienten kann die Fitness durch relativ geringe Anstiege in der körperlichen Aktivität oder durch regelmäßige Ausdaueraktivitäten wie Walking leicht gesteigert werden (8, 10, 15). Allein durch die wiedererlangte Aktivität im Alltag ohne spezifisches Trainingsprogramm verbessert sich die kardiovaskuläre Fitness (23), und das kardiovaskuläre Risiko vermindert sich (6, 11, 17, 18, 24).

Der größte Einfluss auf Geschwindigkeit und Ökonomie wird dem Bewegungsausmaß, dem abnormalen Gang und mehr noch dem Schmerz zugeschrieben (29). Pugh fand in einer Einzelbeobachtung die höchste Verbesserung in den ersten 3 Monaten postoperativ (21). In einer 4-Jahres Nachkontrolle konnten McBeath *et al.* bei 77 Patienten die höchste und entscheidende Verbesserung nach 6 Monaten nachweisen (14).

Ein sehr interessanter Aspekt ist die Gangökonomie des Hüftarthrotikers prä- und postoperativ, da die Veränderung des Gangbildes energetische Veränderungen zwangsläufig nach sich zieht. Klinische Scores zur Leistungsbeurteilung der Gangökonomie von Arthrosepatienten und Prothesenträgern sind nicht ausreichend. Die Anwendung der Spiroergometrie sowie Muskelstoffwechselfparameter bei Patienten mit Haltungs- und Bewegungsschäden wurde in den 70er Jahren erstmals eingesetzt (21, 28). Die Sauerstoffaufnahme und damit der Energieumsatz werden als verlässliche Parameter auch für diese Patientengruppe angegeben (13). So besteht eine enge Korrelation zwischen der Sauerstoffaufnahme und dem Pulsverhalten (26). Arborelius *et al.* berichten über eine verminderte Geschwindigkeit bei gleichzeitig erhöhtem Puls und erhöhter O₂-Aufnahme bei Arthrosepatienten (1). Allerdings erhält man darüber keine sichere Information über die peripher muskuläre Ausbelastung, die wesentlich den Herz-Kreislauf-Antrieb beeinflusst.

In der vorliegenden Untersuchung wurde deshalb das prä- und postoperative Verhalten der Laktatleistungskurve im Vergleich zu Normalpersonen untersucht, um die Bedeutung der Operation und der wiedererlangten Mobilität auf die muskuläre Rekonditionierung zu überprüfen.

Material und Methoden

Patienten

Das Kollektiv der Patienten setzte sich aus 27 Männern und 28 Frauen zusammen, die zur Versorgung mit einer Hüfttotalendoprothese (HTP) in der Orthopädischen Universitätsklinik und Poliklinik vorgesehen waren (Tab.1).

Akute oder chronische Erkrankungen, speziell des Herz-Kreislauf-Systems, die als Kontraindikation einer körperlichen Belastung galten, führten zum Ausschluss. Ebenso musste die Gehfähigkeit auf dem Laufband mit Hilfe des Geländers gesichert sein, gehunfähige Patienten wurden ausgeschlossen. Alle Patienten, bei denen die Erstuntersuchung durchgeführt wurde, nahmen auch an der postoperativen Untersuchung teil. Implantiert wurden 45 unzementierte Adaptiva-Prothesen und 10 teilzementierte (Schaft) Hybrid-

Prothesen. Die Harris-Galante Pfanne wurde in allen Fällen unter press-fit mit Schrauben verankert. Die Seitenverteilung war mit 27 rechten und 28 linken Hüften ausgeglichen.

Die Normgruppe bestand aus 24 untrainierten, gesunden Probanden (Männer n=16, Frauen n=8). Ausschlusskriterien waren insbesondere Erkrankungen oder Beschwerden am Haltungs- und Bewegungsapparat, speziell im Bereich der Hüftgelenke und unteren Extremitäten, sowie akute oder chronische allgemeine Erkrankungen (Tab. 1)

Tabelle 1: Anthropometrische Daten der Patientengruppe (oben) und der Normgruppe (unten), aufgeteilt nach Geschlecht und als Gesamtgruppe. Angegeben sind Alter, Gewicht, Größe und Body mass index als Mittelwert und mit Standardabweichung.

Patienten	N	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]
Frauen	28	58,2 ± 10,4	71,9 ± 14,5	162,7 ± 5,7	27,2 ± 5,6
Männer	27	57,8 ± 7,6	83,4 ± 11,3	175,6 ± 6,5	27,1 ± 3,1
Gesamt	55	58,0 ± 9,0	77,4 ± 14,2	168,9 ± 8,9	27,1 ± 4,5

Normgruppe	N	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	BMI [kg/m ²]
Frauen	8	54,3 ± 4,4	65,3 ± 6,5	165,9 ± 5,1	23,4 ± 2,0
Männer	16	53,9 ± 7,5	80,3 ± 9,9	175,5 ± 5,0	25,8 ± 2,6
Gesamt	24	54,0 ± 6,6	75,5 ± 11,3	172,4 ± 6,7	25,0 ± 2,6

Hinsichtlich Gewicht, Größe und Body mass index (BMI) sind Normgruppe und Patientenkollektiv vergleichbar. Die Patientinnen sind gegenüber den Normgruppen-Frauen allerdings 6 kg schwerer und 3 cm kleiner, was beim BMI 4 Einheiten ausmacht. Die postoperativen Daten der Patientinnen veränderten sich hinsichtlich Gewicht, Größe und BMI nicht.

Methoden

Jeder Teilnehmer wurde zweimal untersucht, die Normgruppe im Abstand von 1 Woche. Bei den Patienten lag der erste Termin 1-8 Tage vor der HTP-Operation, der zweite frühestens sechs Monate nach dem Eingriff. Eine größtmögliche Standardisierung hinsichtlich des Testzeitpunktes (zwischen 13 Uhr und 20 Uhr), den räumlichen Gegebenheiten (klimatisierter Testraum; Temperatur 21°C) und den einzelnen Arbeits- und Untersuchungsschritten wurde eingehalten.

Die Testpersonen wurden über den Untersuchungsgang und das Untersuchungsziel aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis zur prä- und postoperativen Untersuchung.

Die Gehbelastung erfolgte auf dem Laufband SATURN, HP COSMOS, (Traunstein, Germany). Vor Beginn des Belastungstests durften sich die Testpersonen auf dem Laufband 2:30 Minuten warm gehen. Die Geschwindigkeit wurde konstant auf 3 km/h eingestellt. Eine standardisierte stufenweise gesteigerte Belastung im Gehen mit 1% Inkrement alle 35 Sekunden wurde über 9 Minuten bis 15% Steigung oder bis zum vorzeitigen Abbruch durchgeführt. Anschließend erfolgte das Ausgehen auf der Ebene über 3 Minuten. In Ruhe, alle zwei Minuten während der Belastung, direkt nach Abbruch und drei Minuten nach Belastung wurden Laktatwerte und Herzfrequenz gemessen.

Herzfrequenz: Die Herzfrequenzbestimmung erfolgte mit Hilfe eines SPORT TESTER^{STM}, POLAR Electro Oy, (Kempele,

Finnland), und eines unterhalb des Pektoralismuskels platzierten Sendergutes.

Laktatmessung: Die Laktatkonzentrationen wurden nach dem enzymatisch-amperometrischen Messprinzip durch das Gerät EBIO plus der Firma Eppendorf, (Hamburg, Germany) automatisiert bestimmt. Vor Entnahme des Blutes aus dem Ohrläppchen (20 µl) wurde dieses mit dem Antirheumatikum FORAPIN E-Salbe hyperämisiert.

Datenerhebung: Nach Berechnung der geräte- und testspezifischen Daten wurden diese mit dem Softwareprogramm JMP Version 3.1.5. (1995), SAS Institut Inc., (Cary, NC, USA) weiterverarbeitet und für die Darstellungen, die in dieser Arbeit verwendet wurden, aufbereitet.

Statistik: Die Mittelwerte und zugehörigen 95%-Konfidenzintervalle werden dargestellt. Da die Anzahl der auswertbaren Messungen unterschiedlich ausfielen, ist für jede Messung die Anzahl der Probanden angegeben, bei denen die Messung vollständig war.

Die Intervalllänge spiegelt die Variabilität der Daten und ihren Umfang wider. Damit werden stichprobenabhängige Zufallsschwankungen in den Messungen berücksichtigt. Eine Überlappung von zwei Konfidenzintervallen deutet eher darauf hin, dass die zugehörigen Messungen hinsichtlich ihrer Mittelwerte praktisch nicht als unterschiedlich gesehen werden können (5).

Tabelle 2: Maximale Steigung bei Abbruch in Prozent und Laktatwerte in mmol/l der gesamten Patientengruppe, sowie der gesamten Normgruppe bei der zweiten Messung. Mittelwerte, Konfidenzintervall und Probandenzahl (n) prä- und postoperativ, sowie vor und nach der Laufbandbelastung (max. Differenz zur 1. Messung in Klammern).

	Prä-OP	Post-OP	Norm
Maximale Steigung [%]	13,3 ± 0,8 n=35	14,2 ± 0,6 n=35	15,0 ± 0,0 n=19
Ruhe-Laktat [mmol/l]	1,1 ± 0,2 n=44	1,0 ± 0,1 n=44	0,9 ± 0,1 n=19
Laktat max. Belastung [mmol/l]	3,1 ± 0,4 n=40	2,8 ± 0,4 n=40	1,1 ± 0,2 n=19
Laktat nach Belastung [mmol/l]	2,9 ± 0,5 n=43	2,7 ± 0,4 n=43	0,9 ± 0,1 n=18

Ergebnisse

Leistung

Präoperativ erreichten die Patienten im Mittel eine Steigung von 13,3%, dies entspricht einer Belastungszeit von 7,5 min. Die erreichte maximale Steigung liegt für die Patienten postoperativ mit 14,2 % (8 min) geringgradig höher; die Normgruppe wurde protokollgemäß nur bis 15 % Steigung belastet, die von allen Probanden erreicht wurde (Tab. 2).

Herzfrequenz

Im Vergleich zur Normgruppe liegt der Ruhepuls der Patienten

ten präoperativ um 20 Schläge/min und postoperativ um 10 Schläge/min höher. Mit zunehmender Belastung steigt die Differenz zur Normgruppe noch weiter an (Abb.1). Postoperativ hat sich die Herzfrequenz der Patientengruppe durchgehend auf allen Belastungsstufen gesenkt. Im Mittel liegen die Belastungsfrequenzen der Patienten jedoch noch deutlich oberhalb der jeweiligen Konfidenzgrenzen der Normgruppe (Abb. 1).

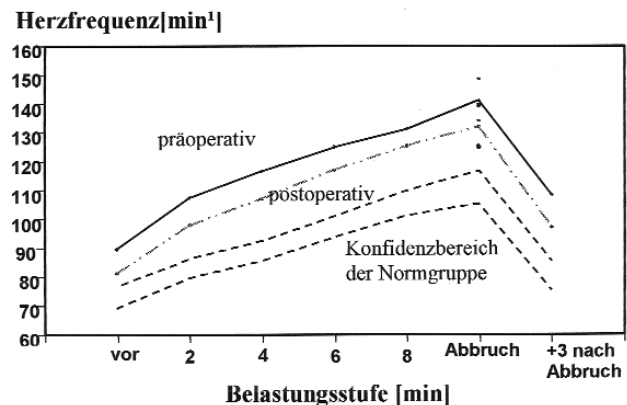


Abbildung 1: Herzfrequenz vor, während (alle 2 Minuten) und nach der Laufbandbelastung (3km/h, Steigung 1%/35sec.). Dargestellt sind die Mittelwerte der Patienten (n=37) mit den jeweils maximalen Konfidenzgrenzen prä- und postoperativ (s. Punkte/Sterne), sowie der Konfidenzbereich der Normpersonen (n=19).

Laktat

Die Laktatbestimmung zeigt für die Normgruppe keinen signifikanten Anstieg während oder nach der Belastung. Die Werte liegen alle zwischen 0,8 und 1,0 mmol/l. Dies deutet auf eine sehr moderate Belastung hin. Bei der Patientengruppe ist bereits der Ruhelaktatwert leicht erhöht und steigt bei Belastung präoperativ kontinuierlich bis maximal 3,1 mmol/l an. Die postoperativen Werte liegen auf jeder Stufe im Mittel nur um 0,2 mmol/l darunter (Tab. 2). Die Abbildung verdeutlicht, dass bis auf die Vorbelastungsphase alle Werte außerhalb des Konfidenzbereichs der Normgruppe liegen (Abb. 2). Zu berücksichtigen ist, dass nicht alle Patienten die

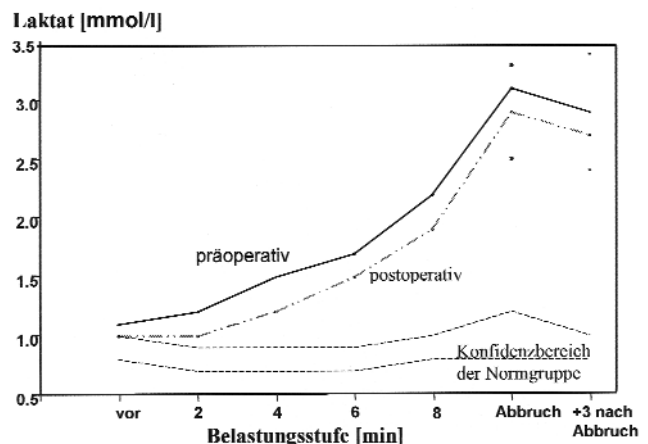


Abbildung 2: Laktat vor, während (alle 2 Minuten) und nach der Laufbandbelastung (3km/h, Steigung 1%/35sec.). Dargestellt sind die Mittelwerte der Patienten mit den jeweils maximalem Konfidenzbereich prä- und postoperativ (s. Punkte/Sterne), sowie der Konfidenzbereich der Normpersonen.

maximale Stufe erreichen und dass die Nachbelastungswerte postoperativ nach einer 0,9 % höheren Steigung (ca. 8 %) bestimmt worden sind.

Diskussion

Die zunehmende Inaktivität führt bei Arthrosepatienten präoperativ zu einem Verlust der allgemeinen und lokalen aeroben Leistungsfähigkeit (Dekonditionierung). Untersuchungen hierzu finden sich bislang vor allem für das Kniegelenk. Die Ursache liegt zum einen in der verminderten Enzymaktivität der aeroben Energiebereitstellung, weiterhin in einer verminderten vasodilatatorischen Kapazität, Verminderung der Zahl und Größe der Mitochondrien und zu einem geringen Teil auch in einem Muskelfasertypshift (15, 20). Entsprechend der Verschlechterung des Krankheitsbildes wurde die größten Einschränkung der aeroben muskulären Kapazität bei den Patienten kurz vor dem Kniegelenkersatz festgestellt (22). *Simon et al.* fanden, dass nach Kniegelenkersatz die Ermüdung von Patienten weniger mit einem erhöhten Energieverbrauch als mit einer eingeschränkten aeroben Arbeitskapazität zu tun hat (25).

Die strukturellen Veränderungen und dadurch bedingte schnellere Anhäufung von Metaboliten bei vermehrter anaerober Energiebereitstellung bei Belastung führen über Ergorezeptoren zu einem vermehrten Kreislaufantrieb mit höherer Ruhe- und Arbeitsherzfrequenz, erhöhter Atemfrequenz und erhöhtem Arbeitsblutdruck (3, 16). Neben dem erhöhten kardiovaskulären Risiko bedeutet eine Einschränkung dieser konditionellen Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit gerade für den älteren Menschen auch eine erhebliche Einschränkung der Lebensqualität, da der begrenzte Bewegungsraum auch die Selbstständigkeit, das Selbstwertgefühl und die soziale Kommunikation negativ beeinflusst.

In der vorliegenden Untersuchung ist präoperativ ein erhöhter Ruhepuls nachweisbar, der bei den hier untersuchten Patienten 15 Schläge/min über den gleichaltrigen Normalpersonen lag. Die Belastungs- und Nachbelastungsherzfrequenzen der Arthrose-Patienten liegen um ca. 30 Schläge/min über der Normgruppe und verbessern sich 6 Monate postoperativ um 6-10 Schläge/min. Postoperativ kommt es zu einer Senkung von 8 Schlägen/min im Mittel, sie liegen aber immer noch deutlich außerhalb der Konfidenzintervalle zur Normgruppe.

Eine Ursache ist die erhöhte metabolische Beanspruchung bei verminderter aerober Kapazität, in der eigenen Untersuchung durch das Verhalten des Serumlaktats kontrolliert. Die Patientengruppe zeigt einen präoperativ wesentlich früheren und höheren Laktatanstieg als die Kontrollgruppe auf niedrigen und insbesondere bei höheren Belastungsstufen. Auch hier kommt es postoperativ zu einer erkennbaren Verbesserung auf den gleichen Belastungsstufen, dennoch ist die Verbesserung eher leichtgradig, und die Werte bleiben noch weit außerhalb des definierten Normbereiches.

Somit ist postoperativ zwar eine Verbesserung der max. und der submax. Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit er-

kennbar, dennoch sind beide Werte noch erheblich von einer Normalisierung im Vergleich zu einer Kontrollgruppe entfernt. Die geringen Verbesserungen sind zum Teil auch auf die fehlende Nozizeption aus dem kranken Gelenk nach der Operation und durch das verbesserte Gangbild mit weniger energetischem Aufwand zurückzuführen. Eine erhebliche Einschränkung der maximalen Leistung konnte auch von *Arborelius et al.* in einer Gruppe von 25 HTP-Patienten postoperativ nachgewiesen werden. In dieser Studie profitierten vor allen Dingen die Patienten mit präoperativ besonders schlechtem Gangbild von der Operation (1).

Die Ursache scheint nicht ganz klar bzw. multifaktoriell. Einerseits könnte die lange Dekonditionierung vor der Operation und Schmerzhemmung z. T. zu irreversiblen Adaptationen, insbesondere Muskelatrophien geführt haben, die sich zumindest im Rahmen der üblichen Therapie 6 Monate postoperativ nur zu einem geringeren Teil zurückbilden. Die fehlende Konditionierung lässt sich aber auf mehreren Ebenen nachweisen, sowohl metabolisch, wie im Bereich des Impulseinstroms aus den Ergorezeptoren auf das vegetative Nervensystem, wie auch die persistierende erhöhte EMG-Aktivität (9). Das Laktatleistungsverhalten zeigt, dass vor allem die lokale aerobe Kapazität, die auch stark von der Kraftausdauer beeinflusst wird (12), deutlich eingeschränkt bleibt. *Ries et al.* hatten ähnliche Verbesserungen auf submaximalem Niveau für HTP-operierte Patienten erhalten, aber aufgrund der erreichten Verbesserungen den Schluss gezogen, dass eine Operation und die nachfolgend vermehrte Aktivität ausreicht, um eine ausreichende Konditionierung und insbesondere Verminderung der Herzkreislaufbelastung zu erreichen (23). Anhand der hier gezeigten Ergebnisse ist eine Verbesserung postoperativ eher gering. Der Anstieg der lokalen aeroben Kapazität, Azidosetoleranz und Kraftausdauer ist aber unbedingt wünschenswert, um eine Ökonomisierung der Belastung im alltäglichen Bereich zu erreichen. Neben der gängigen symptomorientierten Therapie der Coxarthrose werden daher spezielle sporttherapeutische Maßnahmen gefordert. Sie müssen als oberstes Ziel die Wiederherstellung und Erhaltung der Muskelfunktion und aeroben/anaeroben Ausdauer neben einer gesteigerten Gelenkbeweglichkeit haben. Studien konnten zeigen, dass einerseits Walking, aber auch Krafttraining dem Gonarthrosepatienten durchaus zugemutet werden können, für den Coxarthrotiker und Prothesen-Patienten bleibt dies zu beweisen (2, 10, 15). Für die Verbesserung der aeroben Ausdauerfähigkeit und als mildes Krafttraining sind Radfahrtraining, Fahren auf dem Ergometer oder unter Aktivierung problemferner Muskelgruppen Handkurbelergometrie kombiniert mit einem individuell zusammengestellten Krafttraining gut möglich. Sportarten wie Skilanglauf oder das artverwandte Inline-Skating sind zwar vom biomechanischen Aspekt vertretbar, jedoch mit erhöhter Sturzgefahr versehen. Das in der Traumatologie und Sportmedizin rehabilitativ eingesetzte Aquajogging findet in der Behandlung von Arthrotikern und Prothesen-Patienten noch wenig Beachtung (31), vermutlich wegen des Aufwandes. Hier kann ohne Belastungsspitzen auf das Skelettsystem die Muskulatur ge-

kräftigt und das Herz-Kreislaufsystem trainiert werden (27, 30).

Literatur

1. *Arborelius MM, Carlsson AS, Nilsson BE*: Oxygen intake and walking speed before and after total hip replacement. *Clin Orthop* 121 (1976) 113-115.
2. *Calkin E, Gresham GE, Pendergast DR, Fisher NM*: Muscle Rehabilitation: Its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 72 (1991) 367-374.
3. *Fisher NM, Pendergast DR*: Application of quantitative and progressive exercise rehabilitation to patients with osteoarthritis of the knee. *J Back Musculoskel Rehabil* 5 (1995) 33-53.
4. *Fletcher GF, Blair SN, Blumenthal J, Caspersen C, Chaitman B, Epstein S, Falls H, Frölicher ES, Frölicher VF, Pina IL*: Statement on exercise: benefits and recommendations for physical activity programs for all Americans. A statement for health professionals by the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation* 86 (1992) 340-344.
5. *Gardner MJ, Altman DG*: Statistics with confidence. *British Medical Journal*, London (1994) pp 6-20.
6. *Heitkamp HC, Röcker K, Horstmann T, Dickhuth HH*: Sport und Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. *Internist* 33 (1992) 130-135.
7. *Heitkamp HC, Graf I, Horstmann T, Mayer F*: Pathophysiologie und Sporttherapie der Gonarthrose aus heutiger Sicht. *Dt Z Sportmed* 48 (1997) 349-359.
8. *Henderson SA, Finaly OE, Murphy N, Boreham C, Mollan RA, Gilmore DH, Beringer TR*: Benefits of an exercise class for elderly women following hip surgery. *Ulster Med J* 61 (1992) 144-150.
9. *Horstmann T, Mayer F, Niess A, Röcker K, Dickhuth HH*: Neue Aspekte der Rehabilitation bei Arthrose- und Endoprothesenpatienten. *Med Welt* 6 (2000) 193-197.
10. *Kovar PA, Allegrante JP, MacKenzie CR, Peterson MG, Gutin B, Charlson ME*: Supervised fitness walking in patients with osteoarthritis of the knee: randomized controlled trial. *Ann Intern Med* 116 (1992) 529-534.
11. *Leon AS, Connett J, Jacobs DR jr, Raurama R*: Leisure-time physical activity levels and risk of coronary heart disease and death: The multiple risk factor intervention trial. *J Am Med Ass* 258 (1987) 2388-2395.
12. *Martin D, Carl K, Lehnertz K*: Handbuch Trainingslehre, Verlag Karl Hofmann, Schorndorf (1991) pp 102-109.
13. *Mattsson E, Broström LA, Linnarsson D*: Walking efficiency after cemented and noncemented total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 254 (1990) 170-179.
14. *McBeath AA, Bahrke M S, Balke B*: Walking efficiency before and after total hip replacement as determined by oxygen consumption. *J Bone Joint Surg* 62A (1980) 807-810.
15. *Minor MA, Hewett JE, Webel RR, Dreisinger TE, Kay DR*: Exercise tolerance and disease related measures in patients with rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *J Rheum* 15 (1988) 905-911.
16. *Mitchell JH*: Neural control of the circulation during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22 (1990) 141-154.
17. *Older P, Smith R, Courtney P, Hone R*: Preoperative evaluation of cardiac failure and ischemia in elderly patients by cardiopulmonary exercise testing. *Chest* 104 (1993) 701-704.
18. *Paffenbarger RS, Hyde RT, Wing AL, Hsieh CC*: Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *N Engl J Med* 314 (1986) 605-613.
19. *Paffenbarger RS, Hyde RT, Wing AL, Lee IM, Jung DL, Kampert JB*: The association of changes in physical-activity level and other lifestyle characteristics with mortality among men. *N Engl J Med* 328 (1993) 538-545.
20. *Philbin EF, Groff GD, Ries MD, Miller TE*: Cardiovascular fitness and health in patients with end-stage osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 38 (1995) 799-805.
21. *Pugh LGC*: The oxygen intake and energy cost of walking before and after unilateral hip replacement, with some observations on the use of crutches. *J Bone Joint Surg* 55B (1973) 742-745.
22. *Ries MD, Philbin EF, Groff GD*: Relationship between severity of gonarthrosis and cardiovascular fitness. *Clin Orthop* 313 (1995) 169-176.
23. *Ries MD, Philbin EF, Groff GD, Sheesley KS, Richman JA, Lynch F*: Effect of total hip arthroplasty on cardiovascular fitness. *J Arthroplasty* 12 (1997) 84-90.
24. *Sandvik L, Erikssen J, Thanlow E, Eriksson G, Mundal RM, Rodahl K*: Physical fitness as a predictor of mortality among healthy, middle-aged Norwegian men. *N Engl J Med* 328 (1993) 533-537.
25. *Simon SR, Trieschmann HW, Burdett RG, Ewald FC, Sledge CB*: Quantitative gait analysis after total knee arthroplasty for monarticular degenerative arthritis. *J Bone Joint Surg* 65A (1983) 605-613.
26. *Stoodley M, Sikorski JM*: Objective and useful mobility assessment of patients with arthropathy of hip and knee. *Clin Orthop* 224 (1987) 110-116.
27. *Takeshima N, Nakata M, Kobayashi F, Tanaka K, Pollock ML*: Oxygen uptake and heart rate differences between walking on land and in water in the elderly. *J Aging Phys Activity* 5 (1997) 126-134.
28. *Waters RL, Hislop HJ, Perry J, Antonelli D*: Energy cost of normal and pathologic gait. *Orthop Clin North Am* 9 (1978) 351-356.
29. *Waters RL, Perry J, Conaty P, Lunsford B, O'Meara P*: The energy cost of walking with arthritis of the hip and knee. *Clin Orthop* 214 (1987) 278-284.
30. *Wildler RP, Brennan DK*: Physiological responses to deep water running in athletes. *Sports Med* 116 (1993) 374-380.
31. *Zenhäusern R, Frey WO*: Aqua jogging in der Rehabilitation. *Orthopäde* 26 (1997) 926-929.

Anschrift des Verfassers:

Priv.-Doz. Dr. med. Thomas Horstmann
Abteilung Sportmedizin, Medizinische Klinik und Poliklinik
Eberhard-Karls-Universität Tübingen,
Hölderlinstr.11, 72074 Tübingen
Fax.: +49 7071 29 5162
e-mail: thomas.horstmann@med.uni-tuebingen.de
www.hueftschule.de