



H.C. Heitkamp, I. Graf,
T. Horstmann, F. Mayer

Pathophysiologie und Sporttherapie der Gonarthrose aus heutiger Sicht

Pathophysiology and sports therapy of osteoarthritis —
present developments

Med. Klinik und Poliklinik, Abt. Sportmedizin, Universität Tübingen
(Ärztl. Direktor: Prof. Dr. H.-H. Dickhuth)

Zusammenfassung

Die Gonarthrose gilt als die häufigste degenerative Gelenkerkrankung mitbedingt durch das immer höher werdende Lebensalter. Diagnostische Unsicherheit existiert bei der primären Gonarthrose, die sich letztendlich nur durch die Arthroskopie sichern läßt. Die Ursachen der primären Gonarthrose werden weiter erforscht. Unabhängig von der Ätiologie wird die Erkrankung mit Antiphlogistika, Analgetika, Schonung und apparativen Hilfsmitteln zur Entlastung behandelt. Diese symptomorientierte Therapie kann die Progression der Krankheit nicht aufhalten und verstärkt die teilweise über Inaktivität bedingten Atrophieerscheinungen und den funktionellen Ausfall. Der nichtchirurgischen Therapie in Form von Sporttherapie als Rehabilitation kommt zunehmende Bedeutung zu. Untersuchungen zur Effektivität von sporttherapeutischen Maßnahmen werden vorgestellt. Aus der geringen Zahl von fundierten Arbeiten werden 3 aus einem erfahrenen Arbeitskreis ausgewählt: Bei einer Studie zum Effekt der krankengymnastischen Therapie über 3 Monate zeigte sich eine höhere Maximalkraft der Gesäßmuskulatur bei Männern, deutlicher noch bei Frauen sowie eine höhere isometrische Kraftausdauer der Quadrizepsmuskulatur bei beiden Geschlechtern. Bei einem 3monatigen Heimtraining mit gleicher Häufigkeit wurde die Schnellkraft des Quadrizeps bei 45 und 120° Hüftbeugung um 40 % verbessert, aber nicht bei großer Quadrizepslänge bei 0° Hüftbeugung. Die Gesäßmuskulatur wurde nicht beeinflusst. Die höchste Effektivität zeigte ein aufgrund einer Voruntersuchung individuell

dosiertes progressives Übungsprogramm über 2 Monate, wiederum 3 x pro Woche 1 Std. Der Kraftzuwachs lag bei der Quadrizepsmuskulatur bei 35 %, bei allen Hüftwinkeln und war eher höher bei größter Quadrizepslänge. Die Schnellkraft nahm um 50 % zu. Der Kraftzuwachs war nur im ersten Monat von einer deutlichen Zunahme des IEMG begleitet. Eine Verbreiterung des Gelenkspaltes im Röntgenbild ließ nicht nur auf eine Stabilisierung des Krankheitsprozesses, sondern auf eine Verbesserung der Gelenksituation schließen. Die subjektiven Parameter wie Schmerz und Gehfähigkeit ließen sich bei der Nachuntersuchung deutlich günstiger messen. Die meisten Verbesserungen waren noch nach 2 Jahren nachweisbar. Generell zeigten alle Untersuchungen bei Gonarthrose einen positiven Effekt. Entscheidende und über lange Zeit stabile Leistungssteigerungen ließen sich nur mit dem quantitativen, progressiven Programm aufgrund von isokinetischer Eingangsdiagnostik sichern.

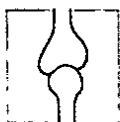
Zur Durchbrechung des circulus vitiosus von Muskelatrophie, Schmerzzunahme, reduzierter Aktivität und weiterer Muskelatrophie muß durch eine intensive progressive Trainingstherapie die Gesäß- und Quadrizepsmuskulatur in mehreren Hüft- und Kniewinkeln mittels isometrischen, isotonen, schnellkräftigenden sowie ausdauernden Beanspruchungen verbunden mit Dehnmaßnahmen durchgeführt werden. Als Voruntersuchungen sind Messungen auf einem isokinetischen System zur exakten individuellen Trainingsdosierung zu fordern. Die optimale Rehabilitation ist nicht nur im Hinblick auf ein mögliches Hinausschieben von chirurgischen Maßnahmen, sondern

auch wegen der Verhinderung von Gonarthrose bedingten Bewegungsmangelkrankheiten wie Arteriosklerose sinnvoll. Somit liegt in den intensiven kombinierten sporttherapeutischen und krankengymnastischen Maßnahmen ein hohes Einsparungspotential für medizinische Folgekosten.

Schlüsselwörter: Gonarthrose, Muskeltraining, Funktionstraining, Isokinetik, Sportphysiotherapie

Summary

Knee osteoarthritis is the most often observed degenerative joint disease influenced by the rising age of the population. Primary osteoarthritis is best diagnosed by arthroscopy; the etiology is still being investigated. Current treatment includes antiphlogistic medicine, analgetics, reduction of painful activity and technical equipment for stress reduction of the knee. This kind of therapy cannot stop the progression of the disease and increases the partly inactivity-induced atrophy and functional decay. Sports therapy as non-invasive therapy gains increasing importance. The efficacy of sports therapy is underlined by the results of three investigations by an experienced group. Physical therapy alone showed an increased maximal force of the hamstring muscles more in women than in men as well as a higher isometric endurance of the quadriceps muscles. The same amount of training yielded a 40%-increase in explosive force of the quadriceps in 45° and 120° hip angle, but not in an hip angle of 0° leaving the hamstrings without a gain. Best efficacy



showed an individually fit, progressive exercise program lasting only 8 weeks with the same frequency and duration per unit. The gain in quadriceps strength was 35% in all hip angles being higher at 0° hip angle. The explosive force increased by 50%. The gain in force was accompanied by a gain in IEMG during the first 4 weeks. An increase in the intercondylar space hinted not only towards a gain in stability but also towards a reversal of the pathologic process. Pain and walking distance were improved and most effects could be measured again 2 years later. Generally most investigations with physical therapy showed some positive effects. Long standing improvements were measured only by the individual quantitative progressive exercise program. For interruption of the vicious cycle muscle atrophy, increasing pain, reduced activity and continuous muscle atrophy, an intensive physical therapy program must be applied including hamstring and quadriceps muscles in several hip and knee angles by isometric-, isotonic-, endurance- and fast force-movements. Before inclusion in a program the patient needs isokinetic diagnostics. Optimal rehabilitation points not only to avoidance of knee replacement but also to the reduction of arteriosclerosis promoted by inactivity. Thus an intensive sport and physical program implies a high potential for saving otherwise unavoidable costs.

Key words: Osteoarthritis, Muscle Training, Functional Training, Isokinetics, Sports Therapy

Einleitung

Die Gonarthrose gehört zu den häufigsten chronischen Erkrankungen im höheren Lebensalter und ist die häufigste degenerative Gelenkerkrankung (23). Sie wird in der angloamerikanischen Literatur als Osteoarthritis oder Osteoarthrosis bezeichnet (2, 38). Sie ist durch degenerative, primär nicht entzündliche Prozesse gekennzeichnet, die eine reaktive Entzündung und Mitbeteiligung des subchondralen Knochengewebes auslösen (1). In der Regel mündet sie im Endstadium in den Gelenkersatz. Die bisherige Therapie bezieht sich in erster Linie auf Schmerzbekämpfung und Verhaltensänderung; beides mündet oft in eine zuneh-

Tabelle 1: Diagnostik der Gonarthrose

Anamnese:	Schmerzen, Funktionsverlust, Gelenksteifigkeit
Gelenkstatus:	Bewegungseinschränkung, Gelenkinstabilität, Gelenkreiben
Blut:	Ausschluß einer Entzündung, BSG, CRP, Rheumafaktoren
Röntgen:	Osteophyten, Gelenkspaltverschmälerung, Sklerose, Chondrocalzinose

mende Inaktivität und somit in ein Fortschreiten der Grunderkrankung.

Nach neueren Untersuchungen können die Schmerzen und der Funktionsverlust durch Sporttherapie zum Stillstand gebracht werden; sollte auch ein günstiger Effekt auf die Gelenkstrukturen nachgewiesen werden, müßte ein rehabilitatives Kraft- und Bewegungstraining zwingend verordnet werden.

Diagnostische Unsicherheit ergibt sich aus der häufigen Diskrepanz zwischen einem mindestens 1-monatigen anhaltenden Knieschmerz im Jahr und dem meist negativen röntgenologischen Befund (19). So ergab eine amerikanische Untersuchung in allen Altersklassen klinische Hinweise auf eine Gonarthrose, die besonders in jüngeren Jahren seltener mit röntgenologischen Zeichen untermauert werden konnte (18). Selbst bei Einsatz von aufwendigen Untersuchungsmethoden wie CT, NMR, Kniegelenkszintigraphie bleibt eine diagnostische Unsicherheit, so daß letztendlich zur invasiven Diagnostik, zur Arthroskopie, übergegangen wird.

Nach *Panush und Lane* (42) sollten die in Tabelle 1 angegebenen Kriterien zur Diagnosesicherung herangezogen werden.

Ein wichtiges diagnostisches Kriterium ist die Röntgenuntersuchung (20), deren

5 Stadien nach WHO schon 1957 von *Kellgren und Lawrence* (26) festgelegt wurden (Tab. 2). Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit wiesen sehr gute Ergebnisse bei der Befundung von Osteophyten und bei der Gelenkspaltbeurteilung auf, wenig reproduzierbare bei Chondrocalzinose und subchondraler Sklerose (17).

Ätiologie der idiopathischen Arthrose

Die Ätiologie der idiopathischen Arthrose ist noch weitgehend unerforscht. Bezüglich des intakten Gelenkes ist der primär betroffene Knorpel von entscheidender Bedeutung, jedoch sind die umliegenden Strukturen für die Belastbarkeit und für die Nutrition von großer Wichtigkeit, ebenso die Menisci für die Schockabsorption (22). Der hyaline Knorpel, bestehend aus Kollagenfasergestützte, einer Zwischensubstanz und dem Proteoglycan, hat darin enthalten als einziges zelluläres Element die Chondrozyten, die 0,1 % des Knorpelvolumens ausmachen. Der Chondrozyt ist als einzige organgebundene Zelle unter anaeroben Bedingungen überlebensfähig und ist auf Ernährung durch Diffusion angewiesen. Diese Zelle ist nicht nur für die Synthese von Matrixkompo-

Tabelle 2: Röntgendiagnostik (WHO) bei Gonarthrose und Stadieneinteilung (modifiziert nach 26 u. 46).

Stadium	Befund
0	Keine Merkmale
1	Zeifelhaft: Minutiöse Osteophyten, fragliche Signifikanz
2	Minimal: Definitive Osteophyten mit minimaler Gelenkspaltverschmälerung
3	Moderat: Gemäßigte Verkleinerung des Gelenkspaltes, Ausziehung an der Eminentia intercondylaris
4	Schwerwiegend: Ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung mit subchondraler Knochensklerose, Randkantenausziehung, Zystenbildung, deformierte Gelenkflächen

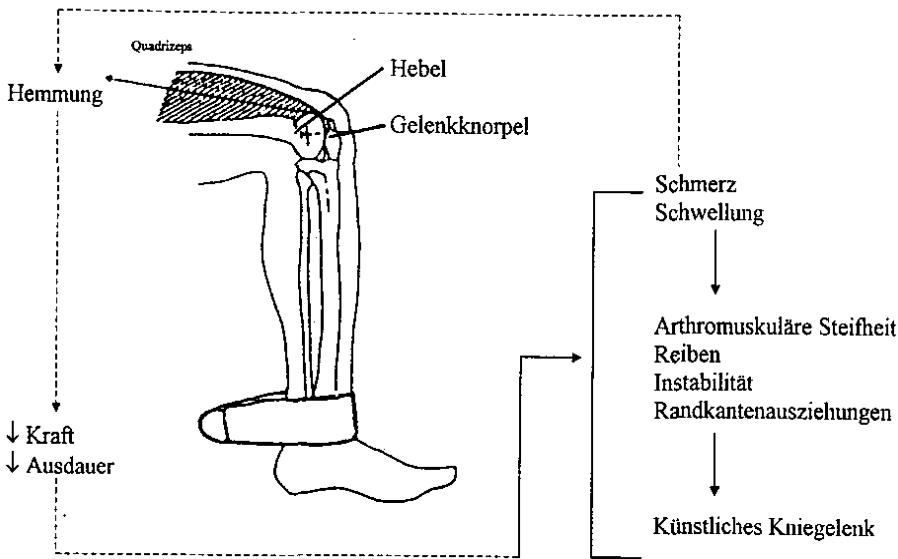


Abbildung 1: Fließdiagramm zur Gonarthroseentwicklung. Die gestrichelte Linie kennzeichnet den hypothetischen Circulus vitiosus. Das Ziel eines Trainingsprogrammes liegt in der Reduktion der reaktiven Inhibition der motorischen Einheiten, einer Reduktion der auf das Knie wirkenden Kräfte durch eine verbesserte muskuläre Stabilisation und eine Verbesserung der Ausdauer (modifiziert nach 12).

nenten sondern auch von Enzymen für die Degradation des Knorpelgewebes verantwortlich (9). Die extreme Wasseraufnahmefähigkeit und Quellfähigkeit der extrazellulären Matrix garantieren Verformbarkeit, Druckfestigkeit und Elastizität des Knorpels. Die von der Synovialmembran produzierte Synovia, die Hyaluronsäure als Glykosaminoglycan enthält, reduziert die Reibungsfläche sehr weitgehend bei einem Reibungskoeffizienten von 0,002 (38). Bei Druckbelastungen gelangen in die Synovia Glucose, Aminosäuren und Ionen und infolge des kolloidosmotischen Druckgefälles diffundiert das Laktat als Endprodukt der anaeroben Glykolyse in die Gelenkflüssigkeit zurück. Das Laktat bewirkt eine vermehrte Freisetzung von Glucose zur Gewährleistung der Knorpelnutrition. Aufgrund der Struktur des Knorpelgewebes als aneural, hypozellulär, alymphatisch und ohne Blutgefäße bleiben Schäden zunächst asymptotisch. Von Bedeutung ist eine durch Belastung induzierte reversible Dickenzunahme des Knorpels, die in erster Linie über Flüssigkeitsaufnahme zustande kommt. Nach intermittierenden Druck- und Scherbeanspruchungen wurde eine langfristige Hypertrophie beobachtet und nach statischen Belastungen eine degenerative Reaktion (15).

Kennzeichen des Knorpels beim alternen Menschen sind eine Größenzunahme der Chondrozyten mit mehr lysosomalen Enzymen, die eine höhere Matrixdegeneration verursachen; mit Abnahme der DNA-Synthese geht ein Rückgang der Proteoglycankonzentration und des Wassergehaltes einher. Als Folge verringert sich die stoßdämpfende Eigenschaft (38).

Verlauf der Gonarthrose

Im Gegensatz zur Ätiologie ist der Krankheitsverlauf der Arthrose gut bekannt (Abb. 1): Der arthrotische Knorpel zeigt eine viel ausgeprägtere Proteoglycanabnahme als dem Alter entsprechend, was zur Knorpelerweichung und zur Demaskierung des Kollagenfasergestütes führt. Der Knorpel verbraucht sich, verliert an Dicke und wird faserig. Mit der Auflockerung kommt es zur Ulzeration, die zu Komplikationen führen kann. Die abgeriebenen Partikel werden von Enzymen abtransportiert, die zusätzlich chondrolytisch wirken. Der subchondrale Knochen bildet reaktiv auf ungedämpfte Stöße Sklerosierungen und Randosteophyten. Kommt es im Gefolge zur Offenlegung der Knochenmarkhöhle, reagiert das Knochenmark mit Zystenbildung. Dieser komplexe Prozeß kann aufgrund

fehlender Innervation von Knorpel und Knochen symptomlos verlaufen. Mäßige Beschwerden liegen dem Ursprung nach in der Muskulatur und an den Sehnenansätzen (49). Oft kommt es aber durch den mechanischen Knorpelabrieb zu einer Begleitsynovitis, ausgelöst von Apatitkristallen, Kollagenfasern und Proteoglycan. Jetzt kommt es zur Manifestation der Arthrose; man spricht von „aktivierter“ Arthrose.

Der Krankheitsprozeß kann aktive und stille Phasen zeigen. Gonarthrosesymptome sind anfänglich Schmerzen, als Belastungs- und Ruheschmerz oder nächtlicher Schmerz, sowie Gelenkschwellung mit Kapselüberdehnung (11), hierdurch kommt es zum Funktionsverlust und verminderter Gelenkbeweglichkeit, sowie zu sekundären Achsenabweichungen im Sinne einer arthrotischen Varus- oder Valgusstellung.

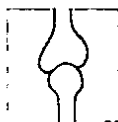
Schlagwortartig werden die Theorien zur Ursache einer primären Gonarthrose dargestellt. Die Genese muß als multifaktoriell d.h. als Kombination mehrerer der folgenden Möglichkeiten gesehen werden:

- Reaktivierung von Wachstumsfaktoren im mineralisierten Teil des Gelenkknorpels (25)
- Subklinisch und selbstlimitierend verlaufende Synovitiden, welche über die Freisetzung von Bakterientoxinen und Granulozytenenzymen eine Zerstörung des hyalinen Gelenkknorpels bewirken (9).
- Chondrogene Proteasen und Kollagenasen, freigesetzt durch Interleukin 1 aus der Synovialmembran, bewirken eine chondrozytäre Chondrolyse (9).
- Mikrotraumen des Knorpels durch unangepaßte Gelenkanteile, Überlastung normaler Gelenke und eingeschränkte Heilung von Mikrotraumen des Knorpels oder subchondraler Knochen (16).

Ätiologie der sekundären Gonarthrose

Die sekundäre Gonarthrose läßt Ursachen erkennen, die in erster Linie mit vorangegangenen Makrotraumen oder rezidivierenden oft unbemerkten Mikrotraumen zusammenhängen, zum Teil auch bei bestimmten Sportarten wie Hockey, Ballett, Fallschirmspringen, Jogging, Fußball, Ringen vermehrt auf-

WISSENSCHAFT



treten (21, 31, 32, 46). Körperliche Schwerarbeit kann auch als Auslöser gelten. Das Gelenk einbeziehende Frakturen, aber auch Bandverletzungen, Meniskusläsionen und Kreuzbandläsionen können als Ursache herangezogen werden. Nach bedeutenden Knieverletzungen fand sich ein 4,5-fach erhöhtes Gonarthrosrisiko (27). In zweiter Linie werden mechanische und lokale Faktoren besonders dann zu einem großen Risiko, wenn eine Hypermobilität und eine Valgusstellung der Beinachse vorliegen (1). Aber auch eine Beinlängendifferenz und Übergewicht können ursächlich herangezogen werden (10). Von geringer Bedeutung für die sekundäre Arthrose sind endokrine Erkrankungen und Calzi-umablagerungskrankheiten.

Pathophysiologie der Gonarthrose

Gonarthrosepatienten weisen neben einer deutlichen Schwächung der Quadrizepsmuskulatur eine Atrophie der Kniebeuger auf, was zu einer Instabilität des Kniegelenkes und zur Zunahme der Gonarthrose führt, wobei der Kraftverlust bei isotonischen und isokinetischen Kraftmessungen größer ist als bei isometrischen (47). Die Gehzeit bei Gonarthrosepatienten erscheint deswegen verlängert und die schmerzbedingte reduzierte Kniewinkelgeschwindigkeit wird durch verstärkte Belastung anderer Gelenke (gesundes Kniegelenk oder Hüfte) ausgeglichen; die gleichen Autoren zeigten auch einen Kraft- und Flexibilitätsverlust am gesunden Bein, wobei ersteres auf die schmerzbedingte Reduktion der körperlichen Aktivität zurückgeführt wurde. Die progressive Muskelatrophie der gelenkübergreifenden Muskulatur korreliert mit dem Schmerzgrad und dem Ausmaß der Behinderung (5, 34).

Wenig beanspruchte Muskulatur erleidet einen Verlust der aeroben Leistungsfähigkeit (41,43). Die Enzyme der aeroben Energiebereitstellung werden reduziert, wobei die ST-Fasern schneller einen Funktionsverlust erleiden als die FT-Fasern. Die größte Einschränkung der aeroben Kapazität konnte entsprechend bei Patienten kurz vor dem Kniegelenkersatz festgestellt werden (44). Bei Persistenz dieser Bewegungsmangelsituation durch Gonarthrose kommt es im Laufe von Jahren zu einer Zunahme von degenerativen Gefäßerkrankungen, insbeson-

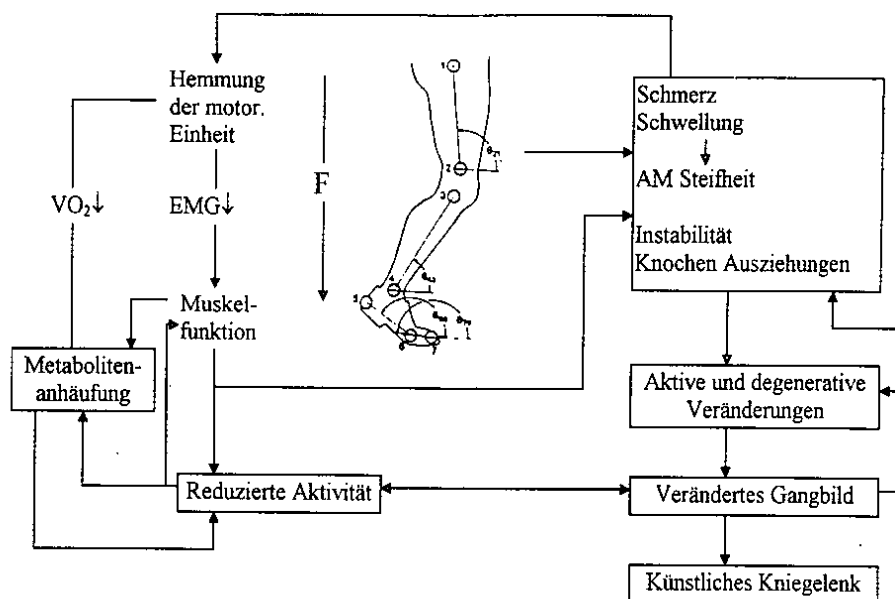


Abbildung 2: Pathophysiologische Grundlagen für die Entstehung von Belastbarkeitseinschränkungen von Gonarthrosepatienten. Die Schwerkraft F als wichtigster Faktor für die Kniebelastung und die Folgeerscheinungen. Die Symptome führen über eine Inhibition zu einer verminderten Rekrutierung von motorischen Einheiten und reduzierter Aktivierung (IEMG), somit reduzierte Muskelfunktion; diese wiederum führt zu reduzierter Aktivität und zusammen mit der reduzierten Muskelfunktion zu einer geringeren Fitness, gemessen an der maximalen Sauerstoffaufnahme. Muskelfunktionsverlust und reduzierte Aktivität führen zur Veränderung des Gangbildes, die auch die Gonarthrose verstärken kann. Im Endstadium erfolgt der Gelenkersatz. Unklar ist, in welchem Ausmaß die Rehabilitation das Geschehen beeinflusst (modifiziert nach 14).

dere der koronaren Herzerkrankung (43). Die schnelle Anhäufung von Metaboliten bei zunehmend anaerober Energiebereitstellung bei Belastung führt zu höherer Atemfrequenz, höherer Arbeitsherzfrequenz und höherem Arbeitsblutdruck (14).

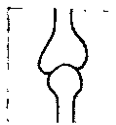
Die reflektorisch inhibierte Muskelfunktion führt zu einer Abnahme der körperlichen Aktivität, somit zu einem verschlechterten Gangbild, das wiederum zu reduzierter Aktivität führt (Abb. 2). Die durch Muskelatrophie bedingte Gelenkinstabilität führt zu einer Vermischung von aktiven und degenerativen Prozessen, was ebenfalls das Gangbild reduziert.

Therapie

Die gängige Therapie der Gonarthrose ist symptomorientiert (24): Antiphlogistika, Reduktion von schmerzauslösenden Belastungen und somit eine Persistenz der funktionellen Begrenzung, aber auch apparative Hilfsmittel zur Entlastung des betroffenen Gelenkes (Gehstützen). Die-

se konventionelle Therapie geht mit einem steigenden Verlust der körperlichen Leistungsfähigkeit einher (14); dagegen konnte schon gezeigt werden, daß auch Gonarthrosepatienten Walking und Krafttraining zugemutet werden kann (4,29,41).

Sporttherapeutische Maßnahmen müssen als oberstes Ziel die Wiederherstellung und Erhaltung der Muskelfunktion haben. Ein weiteres Ziel ist eine gesteigerte Gelenkbeweglichkeit. Voll funktionsfähige Muskulatur ist von entscheidender Bedeutung für das Kniegelenk: Die Gelenkstabilität und Gelenkführung werden geschult. Die Muskulatur stellt einen optimalen Schockabsorber dar, wenn sie im beanspruchten Zustand dehnfähig bleibt. Abrupte Belastungen als große Gefahr für das vorgeschädigte Gelenk werden eher vermieden. Schmerzbedingte Kontrakturen erhöhen den Kniebinnendruck und verändern die Gelenkkongruenz durch ein auf das Gelenk wirkendes Kräfteverhältnis. Muskelentspannung reduziert den Binnendruck (22). Atrophierte und schnell ermüdende Muskeln führen zu hoher Ge-



lenkbelastung, die der Gelenkentzündung und dem Schmerz Vorschub leistet. Muskelkräftigung, Ermüdungswiderstandsfähigkeit und Dehnfähigkeit der periartikulären Muskulatur müssen bei der Rehabilitation der Gonarthrose im Vordergrund stehen.

Die aerobe Kapazität kann nicht nur über Schulung von Muskelgruppen nicht befallener Gelenke, sondern auch durch Walking verbessert werden (41). Andere aerobe Übungsprogramme haben allerdings keinen Effekt auf die Muskelkraft (40,41), weswegen auf Ausdauertraining nicht weiter eingegangen wird.

Sporttherapie

Voruntersuchungen

Vor einem Trainingsprogramm sind funktionsdiagnostische Untersuchungen zur exakten Dosierung und Ausrichtung des Trainingsprogramms notwendig. Als Methoden sind Dynamometerverfahren, Goniometrie und der manuelle Muskelkrafttest geläufig. Die relativ einfache, aber objektive Art der Messung, die weit verbreitet ist, ist die Goniometrie zur Quantifizierung des Bewegungsausmaßes im Knie (22). Zusammen mit dieser Messung wird oft der manuelle Muskelkrafttest durchgeführt, bei dem der Patient den durch den Untersucher erzeugten Widerstand durch Muskelkraft zu überwinden sucht; allerdings setzt dieser Test Untersuchererfahrung voraus, denn er ist qualitativ und nicht quantitativ, außerdem bei kontrakter oder schmerzhafter Muskulatur unzuverlässig (22). Erst ab einem Kraftverlust von 50% kann ein Kraftdefizit erfaßt werden, deswegen sind quantitative Methoden wie Dynamometerverfahren in Form von isokinetischen Messungen günstiger. Die Vorteile der isokinetischen Dynamometrie sind Vermeidung von Überlastung, Gravitationskorrektur und elektronische Eichung (35,39). Objektive Daten für Drehmomentmaxima, Kontraktionsgeschwindigkeit, Schnellkraft, geleistete Arbeit und Bewegungsausmaß können erhoben werden. Bei statischer Maximalkraftmessung wird bei einem bestimmten Beugungswinkel ein maximaler Widerstand vorgegeben. Nicht unbedeutende Nachteile der Methode sind die fehlende Ähnlichkeit mit alltäglichen Muskelbeanspruchungen und eine Ein-

schränkung der Genauigkeit bei hoher Winkelgeschwindigkeit bei Arthrosepatienten oder älteren Menschen (14).

Trainingsprogramm

Isometrisches, konzentrisch-dynamisches und isokinetisches Krafttraining sowie Beweglichkeitstraining gehören zum Rehabilitationsprogramm bei Gonarthrose (6,48). Die prinzipiellen Vor- und Nachteile dieser Trainingsmethoden werden kurz skizziert:

Isometrisches Krafttraining

Bei der Erstellung eines Trainingsprotokolls werden die Anzahl der Wiederholungen, die Gelenkwinkel, die Kontraktionszeit und die Anspannung in Prozent der Maximalkraft angegeben (3), wobei etwa 6 Anspannungen über 6 sec mit einer Pause von 20 sec und bei 60 - 70 % der Maximalkraft als optimal angesehen werden (22).

Vorteile sind Geräteunabhängigkeit, leichte Durchführung und gute Verträglichkeit bei Arthrose, da sie von allen Kraftmethoden die geringste intraartikuläre Druckerhöhung und die geringste juxtaartikuläre Knochenbelastung verursachen. Besonders günstig ist die Methode bei Schmerzen oder eingeschränkter Gelenkbeweglichkeit, sie ist auch einsetzbar zum Aufwärmen. Nachteilig wirkt sich die feste Übungsposition aus, wenn die Kraft durch die Gelenkbewegung hindurch gestärkt werden muß.

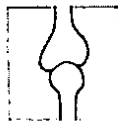
Konzentrisch-dynamisches Krafttraining

Ein Trainingsprogramm mit diesen Übungen beinhaltet den zu überwindenden Widerstand und die Anzahl der Wiederholungen. Es können sich die dynamische Maximalkraft, die lokale Muskelausdauer und die Schnellkraft steigern. Das progressive Widerstandstraining nach *Delorme und Watkins* (in 3) mit Wiederholungsmaxima (repetition maximum) erscheint wegen der Verlagerung des Belastungsstress auf den Hebelarm und wegen des sich steigenden Widerstandes verbunden mit erhöhtem Gelenkinnendruck und Stress auf die gelenkumgebenden Strukturen bei Arthrosepatienten ungeeignet (22); stattdessen erscheint ein gleichbleibend niedriger Widerstand mit 1 - 2,5 kg und einer Wiederholungszahl bis zur Ermüdung geeigneter. Idealerweise lassen sich die-

se Bedingungen mit isokinetischen Trainingsgeräten erschaffen, dabei wird die Bewegungsgeschwindigkeit bei variablem Widerstand konstant gehalten. Der Widerstand paßt sich dem Üben an. Beste Erfolge werden für die Maximalkraft und für die Schnellkraft beschrieben, wenn mit einer Bewegungsgeschwindigkeit von 150 - 240°/sec, bei der nur 40 - 60 % der isometrischen Maximalkraft erreicht werden können, gearbeitet wird (28). Wegen des hohen Kräfteinsatzes auf das Gelenk während der gesamten Bewegung und aus Angst vor weiterer Gelenkschädigung wird Arthrosepatienten zumeist nicht isokinetisches Krafttraining empfohlen (48), bei günstigem schmerzfrees Momentanzustand kann in der Regel mit niedrigem bis mittlerem Drehmoment bei niedrigen Winkelgeschwindigkeiten dennoch vorsichtig trainiert werden (3), d.h. bei höchstens 60% der bei dieser Geschwindigkeit möglichen Maximalkraft. Ungünstig ist auch bei dieser Trainingsform eine Kraftentwicklung mit einer Aktivität in der offenen Kette, wie sie bei alltäglichen Belastungen nicht auftritt.

Beweglichkeitstraining

Bei Berücksichtigung der Ursachen der Beweglichkeitseinschränkung wie Kapselüberdehnung wegen vermehrter Synovia und vermehrtem synovialen Bindegewebe, geschrumpfter Kapsel oder verhärteter Bänder und Sehnen oder Gelenknorpelverlust mit unterschiedlichem Ausmaß der Fibrose- und Ossifikation (48) werden passive, assistierte und aktive Bewegungsübungen unterschieden. Die passive kann durch eine Maschine oder einen Therapeuten zur Stabilisierung der Funktion zur Reduktion von Beinödemen und zur Stimulierung von Flexions- und Extensionsreflexen sowie zur Vorbereitung von geplanten Übungen durchgeführt werden. Die Indikation liegt bei akuten Entzündungen. Bei der assistierten Bewegung wirkt der Patient aktiv durch den Einsatz der Agonisten unter Assistenz des Therapeuten zur Dehnung muskulotendinöser Strukturen (48). Aktive Bewegungen gehen bis zur Bewegungsgrenze durch den Patienten selbst, wobei dann durch aktive Muskelanspannung des Agonisten über die Bewegungsbegrenzung hinaus versucht wird, zu strecken oder zu beugen. So kann beispielsweise eine Kniebeugekontraktur gedehnt werden, indem der Patient mit geradem Rücken an eine



Wand angelehnt auf dem Boden sitzt, die Beine sich ausgestreckt vor ihm befinden und er versucht, die Kniekehlen in Richtung Boden zu schieben.

Funktionelle Übungen

Erst einige Wochen nach systematischem Durchführen des isometrischen und des konzentrisch-dynamischen Krafttrainings sowie des Beweglichkeitstrainings können funktionelle Übungen aufgenommen werden. Diese bestehen aus wiederholtem Treppensteigen von beispielsweise 10 Stufen, Aufstehen von einem Stuhl, Ein- und Aussteigen aus einem Auto. Nach sorgfältiger Bewegungsausführung kann die Geschwindigkeit der funktionellen Übungen kontrolliert gesteigert werden.

Ergebnisse von Trainingsprogrammen bei Gonarthrose

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Effektivität von Training bei Gonarthrose liegen wenig vor; nach ausführlicher Analyse der Literatur werden drei Arbeiten aus demselben Arbeitskreis vorgestellt. Bei einer Untersuchung zur physikalischen Therapie in einem ambulanten Zentrum wurden 20 Männer und 20 Frauen über 3 Monate 3 x pro Woche für 3 Stunden trainiert. Das Programm beinhaltete Hüftab- und -adduktion, -flexion und -extension sowie Knieflexion und Extension sowie isometrische Kraftübungen mit 3 bis 5 Sekunden Haltezeit wie Anheben des gestreckten Beines oder Zehenstand sowie vorhergehende Dehnübungen der Quadrizeps-, Hamstring- und Gastrocnemiusmuskulatur (Tab. 3).

Als Ergebnisse konnten eine Zunahme der isometrischen Kraft der Gesäßmuskulatur um 9 % bei Männern und um 19 % bei Frauen, ebenso eine Zunahme der Maximalkraft der Quadrizepsmuskulatur um 8 % bei Männern und 24 % bei Frauen gesichert werden. Die maximale isometrische Kraftausdauer der Gesäßmuskulatur konnten nur bei den Männern um 42 % und der Quadrizepsmuskulatur bis um 40 % bei beiden Geschlechtern gesteigert werden. Die Kniebeschwerden waren bei 85 % der Teilnehmer geringer, bei 9 % größer und bei 6 % unverändert. Der Erschwernisgrad nahm um 22 % ab. Die Gehzeit verbesserte sich um 17,5 % (11).

Tabelle 3: Krankengymnastisches Rehabilitationsprogramm bei Patienten mit Gonarthrose über 12 Wochen (11). Flex/Ex: Flexion/Extension, Wdl: Wiederholungen, OSG: Oberes Sprunggelenk.

Wochen	Flexion	Extension	Isometrie	Isotonie
1	30 Wdl.	30 Wdl.	—	—
2	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	—
3	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	20 x Beinheben, Flex/Ex im Knie
4	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	Flex/Ex im Knie, Flex/Ex OSG. Zehen anheben, 30 x 0,45 kg
5	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	wie 4. Woche, aber 30 x 0,67 kg
6	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	wie 4. Woche, aber 30 x 0,90 kg
7–8	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	wie 4. Woche, aber 30 x 1,14 kg (oder Fahrradergometer)
9–12	30 Wdl.	30 Wdl.	20 x 3 – 5 sec	wie 4. Woche, aber 30 x 1,14 kg (oder Fahrradergometer)

Tabelle 4: Heimtrainingsprogramm bei Patienten mit Gonarthrose über 12 Wochen (nach 13).

1: Ein Satz entspricht 30 sec Halten und 3 Wiederholungen. 2: Ein Satz entspricht Kontraktionszeit von 5 sec und 10 Wiederholungen. 3: Ein Satz entspricht 10 Wiederholungen. 4: Ein Satz entspricht 10 x Aufstehen vom Stuhl und eine Treppe mit 10 Stufen mit einer Wiederholung.

Wochen	Flexion	Isometrie	Bewegungsbereich	Funktionelle Aktivitäten
	1	2	3	4
1	1	1	1	—
2	1	2	2	—
3	1	3	3	—
4	1	3	3	—
5	1	3	3 à 0,45 kg	—
6	1	3	3 à 1,14 kg	—
7	1	3	3 à 1,59 kg	—
8	1	3	3 à 1,59 kg	—
9	1	3	3 à 1,59 kg	1
10	1	3	3 à 1,59 kg	2
11	1	3	3 à 1,59 kg	3
12	1	3	3 à 1,59 kg	3

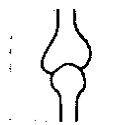
Interessant sind demgegenüber die Ergebnisse eines 3monatigen Heimtrainings an 19 Probanden, von denen nur 9 compliant waren (13). In dem täglichen Programm war isometrische und maximale Kraftbeanspruchung der Gesäß- und Quadrizepsmuskulatur, der Knieflexion und Knieextension enthalten (Tab. 4). Die Belastungen wurden 3 x pro Woche mit einer Dauer zwischen einer 1/2 und 1 Stunde ausgehend von einem Widerstand von 10 % des Kraftmaximums bei den dynamischen Kraftübungen um jeweils 10 % pro Woche erhöht. Die statische Kraftausdauer wurde bis zur Ermüdung, aber nicht länger als 90 sec angehalten. Im zweiten Monat wurde der Widerstand kontinuierlich erhöht und im

dritten außerdem funktionelle Aktivitäten wie Aufstehen vom Stuhl und Treppensteigen in das Programm integriert.

Die Schnellkraft wurde um 40 %, die isometrische Maximalkraft bei 45° Kniebeugung sowie 120° Hüftbeugung um 35 % gesteigert (13), bei großer Quadrizepslänge konnte keine Veränderung gemessen werden. Somit waren die Effekte eines Heimtrainings - da weniger kontrolliert - schlecht im Hinblick auf die Compliance mit ca. 45 % gegenüber 85 % in der vorgenannten Studie, aber preiswerter wegen geringeren apparativen Aufwandes.

Nach diesen, aufgrund qualitativer Eingangsbewertung durchgeführten Studien

WISSENSCHAFT



wird eine dritte mit einem quantitativ progressiven Training an 130 Patienten, die zu 90 % das Studienende erreichten, mit einer Dauer von 2 Monaten vorgestellt (12, 14).

Die maximale Rekrutierung und Aktivierung der motorischen Einheiten für eine Kraftzunahme werden durch isometrische Kraftübungen bei Krafttraining bei verschiedenen Längen der Quadrizepsmuskulatur, die bei unterschiedlichen Hüftwinkeln von 120, 90, 60, 30 und 0° durchgeführt werden, bei 3 verschiedenen Kniewinkeln erreicht (Tab. 5). Der größte Kraftverlust bei Gonarthrose tritt bei langer Muskellänge auf. Die dynamische Muskelkraft und die Muskelausdauer wird über isotonische Kraftübungen, ausgehend von einem Widerstand von 10 % der Maximalkraft und einer Widerstandserhöhung um 10 % pro Woche trainiert. Es wird 3 x pro Woche mit einer Dauer zwischen einer 1/2 und 1 Stunde trainiert. Der stufenförmige Aufbau des Programms wird in der Tabelle 5 sehr deutlich: Erstmals in der 5. Woche werden Schnelligkeitsübungen und in der 4. Woche erst Ausdauer-

übungen systematisch einbezogen, in der 1. Woche dürfen nur isometrische Übungen durchgeführt werden. Das Programm war zunächst auf 4 Monate ausgelegt, konnte jedoch nach Zwischenmessungen zuerst auf 3 und dann nach etwas intensiverem Vorgehen in den einzelnen Trainingseinheiten auf 2 Monate bei nahezu gleichem Erfolg verkürzt werden.

Der Kraftzuwachs lag bei 35 % und war noch höher bei größerer Muskellänge. Die Kraftausdauer nahm ebenfalls um 35 % zu; nach allen Messungen profitierte die Hamstringmuskulatur etwas mehr als die Quadrizepsmuskulatur. Die Schnellkraft stieg um 50 %. Mittels maximal durchgeführter Messungen konnte gezeigt werden, daß nur in dem ersten Monat eine signifikante Zunahme des IEMG's mit einem Kraftzuwachs einhergehend, beim zweiten nahm nur noch die Kraft weiter zu (Abb. 3). Somit erscheint es notwendig, zuerst die Aktivität der motorischen Einheiten über isometrische Übungen und Dehnmaßnahmen zu steigern. Nebenbefundlich zeigte sich eine verbesserte dynamische aerobe Lei-

stungsfähigkeit auf dem Laufband mit reduzierter submaximaler Herzfrequenz und submaximalem Blutdruck. Die Schmerzen nahmen bei 90 % der Teilnehmer ab.

Bemerkenswert war eine Zunahme des Gelenkspaltes im Röntgenbild, was nicht nur auf eine Stabilisierung des Krankheitsprozesses, sondern auch auf eine Tendenz zur Heilung hinweist (33). Hier müssen weitere Untersuchungen folgen.

Eine weitere Untersuchung vergleicht eine Kontrollgruppe mit einer Gruppe mit konventionellem Trainingsprogramm und einer Gruppe mit zusätzlich isokinetischem Training. Alle Trainierenden zeigten einen Kraftzuwachs der Quadrizeps- und Hamstringmuskulatur, wobei das isometrische Muskeltraining die deutlichsten Erfolge brachte (30). Einzelfalldarstellungen zeigten oft noch bessere Ergebnisse, da intensiver und individuell gezielt auf die muskulären Defizite eingegangen werden konnte (36, 37).

In einer Untersuchung zur Effektivität einer zusätzlichen Ultraschalltherapie wurden die 37 Probanden nach Goniometrie und Erhebung von Schmerz- und Gehgeschwindigkeit mit oder ohne Ultraschall behandelt. Dehnübungen der gelenkumgreifenden Muskulatur gingen isometrischen Übungen und aktiven Bewegungen voraus. In 4 - 6 Wochen wurden 2 - 3 Trainingseinheiten von einer Dauer von 30 Minuten durchgeführt. Ultraschall zeigte keinen positiven Effekt. In beiden Gruppen wurde eine Verbesserung der aktiven Beweglichkeit, eine Gehgeschwindigkeitserhöhung und eine Schmerzreduktion gemessen (8). In dieser Studie fehlen Aussagen zur funktionellen Leistungsfähigkeit der Patienten.

In einer kürzlich publizierten randomisierten Studie mit einer Dauer von 18 Monaten Ausdauer- und Krafttraining bei älteren Gonarthrotikern wurde kein Unterschied bei der Schmerzperzeption und funktionellen Tests gefunden (7). Nur die Beugekraft, aber nicht die Streckkraft verbesserte sich. Der Effekt gegenüber einer Gruppe mit nur theoretischen Unterweisungen war relativ gering. Diese Studie weist auf die Notwendigkeit intensiverer Programme hin, so daß die Patienten über schnell erreichte Fortschritte zum weiteren Training animiert werden.

Tabelle 5: Intensives progressives Programm zur Verbesserung der Kraft- und Koordination bei Patienten mit Gonarthrose mit einer Dauer von 8 Wochen (12). W: Winkelstellung, Fmax: Maximalkraft.

Woche	Isometrie	Isotonie	Ausdauer	Schnelligkeit
1	3 Knie- und 5 Hüftwinkel für Quadrizeps 3 Knie- und 1 Hüftwinkel bei Gesäßmuskeln 5 x 9 sec alle W	—	—	—
2	wie bei Woche 1	5 x 10% Fmax alle W	—	—
3	wie bei Woche 1	5 x 20% Fmax alle W	—	—
4	wie bei Woche 1	5 x 30% Fmax alle W	Widerstand bis 90 sec/ oder Ermüdung halten, bei Quadrizeps- u. Gesäß- muskulatur eine W/Tag	—
5	wie bei Woche 1	5 x 40 % Fmax alle W	90 sec/W/Tag	5 x Schnelligkeit bei 20 % Fmax alle W
6	wie bei Woche 1	5 x 50 % Fmax alle W	90 sec/eine W/Tag	wie Woche 5 bei 30 % Fmax alle W
7	wie bei Woche 1	5 x 60 % Fmax alle W	90 sec/eine W/Tag	wie Woche 5 bei 40 % Fmax alle W
8	wie bei Woche 1	5 x 70 % Fmax alle W	90 sec/eine W/Tag	wie Woche 5 bei 50 % Fmax alle W

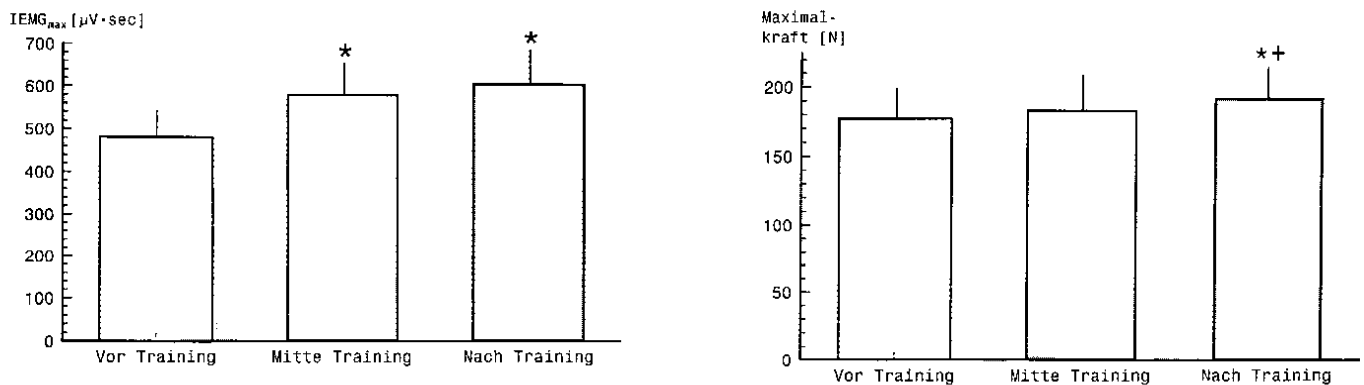


Abbildung 3: Maximales integriertes Elektromyogramm (IEMG) und Maximalkraft nach Training (modifiziert nach Fisher). IEMG und Maximalkraft während maximaler Knieextension bei 20 Gonarthrosepatienten vor, nach 2 (Mitte Training) und nach 4 Monaten (nach Training) progressivem Rehabilitationsprogramm. Das Symbol *bezeichnet einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zur Vormessung und das Symbol + einen signifikanten Unterschied zur Zwischenmessung (modifiziert nach 14).

Optimale Rehabilitation

Gemäß den Grundlagen der Pathophysiologie muß es in einem rehabilitativen Trainingsprogramm darauf ankommen, die Kraftausdauer, die Muskelkraft in verschiedenen Muskellängen, die Kontraktionsgeschwindigkeit und die Flexibilität zu steigern. Die 3 ausführlich geschilderten Trainingsprogramme zeigten einen ähnlichen Kraftzuwachs bei kürzerer und mittlerer Muskellänge. Nur bei der isometrischen Methode konnte auch bei langer Muskellänge ein Erfolg gesichert werden, was auf die Bedeutung des isometrischen Krafttrainings in unterschiedlichen Hüft- und Kniewinkeln hinweist. Denn gerade der Kraftzuwachs bei langer Muskellänge ist im Hinblick auf die funktionelle Kapazität wie Aufstehen vom Stuhl, Gehen bei Steigung oder Treppensteigen von besonderer Bedeutung.

Von allen Studien fanden sich bei dem quantitativen progressiven Rehabilitationsprogramm auch die besten Ergebnisse hinsichtlich Muskelausdauer, Schnellkraft und Flexibilität. Beim Heimtraining wurden die Muskelausdauer und die Flexibilität nicht beeinflusst. Bei der krankengymnastischen Therapie blieb die Schnelligkeit unbeeinflusst, aber die Flexibilität wurde verbessert. Der große Erfolg des dosierten isokinetischen quantitativen progressiven Rehabilitationsprogrammes lag auch an dem individuell festgelegten Widerstand bei 10 % der Maximalkraft. Auch die Messungen der funktionellen Leistungsfähigkeit brachten nach Heimtraining keine signifikanten Veränderungen, geringe nach der physikalischen Thera-

pie, aber deutliche nach der quantitativen progressiven Rehabilitationsmethode.

Die eindeutigsten Leistungssteigerungen lassen sich mit Trainingsprogrammen erreichen, die eine Schulung der Muskelkraft, der Kraftausdauer und eine Verbesserung der Kontraktionsgeschwindigkeit über eine möglichst große Muskellänge zum Ziel haben.

Der zeitliche Aufwand erwies sich mit dem quantitativen progressiven Rehabilitationsprogramm am effektivsten. Ob die Verbesserung der Gelenkstruktur, wie sie aufgrund der Zunahme des Gelenkspaltes zu vermuten ist, Bestand hat, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Die besondere Bedeutung des quantitativen progressiven Rehabilitationsprogrammes für die ambulante Rehabilitation konnte gezeigt werden. Ob sich die Zahl der operativen Interventionen durch diese Maßnahmen senken läßt, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

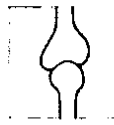
Nach einmal eingesetzter Gonarthrose scheint die entscheidende Ursache für die fortschreitende Gelenkdegeneration und den progressiven Verlust der körperlichen Leistungsfähigkeit der Verlust der Muskelfunktion zu sein. Bisher werden nur 2% der Gonarthrosepatienten einer intensiven Rehabilitation zugeführt. Bei den übrigen läßt sich nach Verordnung von körperlicher Schonung und Schmerzmitteln eher ein weiterer Funktionsverlust beobachten. Sporttherapeutische Maßnahmen können diese weitgehend verhindern, wenn Kraft, Kraftausdauer, Kontraktionsgeschwindigkeit und Flexibilität gezielt verbessert werden. Diese Grundgrößen müssen in verschiedenen Gelenk-

winkeln und durch das ganze Bewegungsausmaß verbessert werden. Vor einem rehabilitativen Training mit dynamischen und statischen Kräftigungsübungen müssen objektive und quantitativ reproduzierbare Messungen am Patienten erhoben werden; nur dann ist ein individuelles Training möglich.

Sämtliche Untersuchungen zur Verbesserung der Situation durch physikalische Maßnahmen haben positive Effekte gezeigt, jedoch sind die Ergebnisse sehr weit gestreut. Der größte Effekt wurde mit der quantitativen progressiven Rehabilitation mit einer noch vorhandenen Wirkung 2 Jahre nach dem Ende des Programms zugebilligt. Die Integration kostengünstiger sporttherapeutischer Maßnahmen ist vor dem Hintergrund ständig älter werdender und somit häufiger einer operativen Intervention bedürftiger Gonarthrotiker indiziert.

Literatur

1. Altman, R., D. Asch, D. Bloch, G. Bole, K. Borenstein, K. Brandt, W. Christy, T.D. Cooke, R. Greenwald, et al: Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 29, (1986) 1039-1049.
2. Altman, R.: The classification of osteoarthritis. *J Rheumatol* 22 (suppl. 43), (1995) 42-43.
3. Bunning, R.D., R.S. Materson: A rational program of exercise for patients with osteoarthritis. *Sem Arthritis Rheum* 21 (suppl. 2), (1991) 33-43.
4. Calkins, E., G.E. Gresham, D.R. Pendergast, N.M. Fisher: Muscle Rehabilitation: Its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 72, (1991) 367-374.



5. Dekker, J., P. Tola, G. Aufdemkampe, M. Winckers: Negative effect, pain and disability in osteoarthritis patients: the mediating role of muscle weakness. *Behav Res Therapy* 31, (1993) 203-206.
6. Ettinger, W.H., J.R. Afable, R.F. Afable: Physical disability from knee osteoarthritis: the role of exercise as an intervention. *Med Sci Sports Exerc* 26, (1994) 1435-1440.
7. Ettinger, W.H., R. Burns, S.P. Messier, W. Applegate, J. Rejeski, T. Morgan, S. Shumaker, M.J. Berry, M. O'Toole, H. Monu, T. Craven: A randomized trial comparing aerobic exercise and resistance exercise with a health education program in older adults with knee osteoarthritis. *J Am Med Ass* 277, (1997) 25-31.
8. Falconer, J., K.W. Hayes, R.W. Chang: Effect of ultrasound on mobility in osteoarthritis of the knee. A randomized clinical trial. *Arthritis Care Res* 5, (1992) 29-35.
9. Fassbender, H.G., J. Zwick: Neue Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Osteoarthrose. *Wien Med Wschr* 145, (1995) 96-98.
10. Felson, D.T.: Weight and osteoarthritis. *J Rheumatol* 22 (suppl. 43), (1995) 7-9.
11. Fisher, N.M., G.E. Gresham, M. Abrams, J. Hicks, D. Horrigan, D.R. Pendergast: Quantitative effects of physical therapy on muscular and functional performance in subjects with osteoarthritis of the knees. *Arch Phys Med Rehabil* 74, (1993) 840-847.
12. Fisher, N.M., D.R. Pendergast: Quantitative progressive exercise rehabilitation (QPER): Rehabilitation of patients with osteoarthritis. In: S.G. Funk, E.M. Tornquist et al (eds.): Key aspects of caring for the chronically ill. Hospital and home. Springer Publishing Co. (1993) 178-189.
13. Fisher, N.M., V.D. jr. Kame, L. Rouse, D.R. Pendergast: Quantitative evaluation of a home exercise program on muscle and functional capacity of patients with osteoarthritis. *Am J Physical Med Rehabil* 73, (1994) 413-420.
14. Fisher, N.M., D.R. Pendergast: Application of quantitative and progressive exercise rehabilitation to patients with osteoarthritis of the knee. *J Back Musculoskel Rehabil* 5, (1995) 33-53.
15. Freiwald, J.: Prävention und Rehabilitation im Sport. Hamburg 1989.
16. Frost, H.M.: Perspectives: A biomechanical model of the pathogenesis of arthrosis. *Anatom Rec* 240, (1994) 19-31.
17. Günther, K.P., H.P. Scharf, W. Puhl, W. Willauschus, Y. Kalke, K. Glückeri, Y. Sun: Reproduzierbarkeit der radiologischen Diagnostik bei Gonarthrose. *Z. Orthop.* 135, (1997) 197-202.
18. Hadler, N.M.: Knee pain is the malady - not osteoarthritis. *Ann Int Med* 116, (1992) 598-599.
19. Hamermann, D.: Clinical implications of osteoarthritis and aging. *Ann Rheum Dis* (1995) 598-599.
20. Hart, D.J., T.D. Spector: Radiographic criteria for epidemiologic studies of osteoarthritis. *J Rheumatol* 22 (suppl. 43), (1995) 46-48.
21. Heitkamp, H-Ch, D. Jeschke, A. Bern, K. Baur, G. Schmid: Probleme am Stütz- und Bewegungsapparat bei Dauerläufern in Abhängigkeit vom Training. In: Rieckert, H. (Hsg): Sportmedizin-Kursbestimmung. Springer-Verlag Berlin - Heidelberg 1987, 286-291.
22. Hicks, J.E., L.H. Gerber: Rehabilitation in the management of patients with osteoarthritis. In: Moskowitz, R.W., D.S. Howell, V.M. Goldberg, H.J. Mankin (eds.): Osteoarthritis: Diagnosis and management. Philadelphia 1992, 427-464.
23. Hill, J.A.: The aging knee. *J Back Musculoskel Rehabil* 5, (1995) 27-32.
24. Hochberg, M.C., R.D. Altmann, K.D. Brandt, B.M. Clark, P.A. Dieppe, M.R. Griffin, R.W. Moskowitz, T.J. Schnitzer: Guidelines for the medical management of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 38, (1995) 1541-1546.
25. Hulth, A.: Does osteoarthrosis depend on growth of the mineralized layer of cartilage. *Clin Orthop Rel Res* 287, (1993) 19-24.
26. Kellgren, J.H., J.S. Lawrence: Radiological assessment of osteoarthrosis. *Ann Rheum Dis* 16, (1957) 494-502.
27. Kohatsu, N.D., D.J. Schurman: Risk factors for the development of osteoarthrosis of the knee. *Clin Orthop Rel Res* 261, (1990) 242-246.
28. Kovalski, J.E., R.H. Heitman, T.L. Trundle, W.F. Gilley: Isotonic preload versus isokinetic knee extension resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 27, (1995) 895-899.
29. Kovar, P.A., J.P. Allegrante, C.R. McKenzie, M.G.E. Peterson, B. Gutin, M.E. Charlson: Supervised fitness walking in patients with osteoarthritis of the knee. A randomized, controlled trial. *Ann Int Med* 116, (1992) 529-534.
30. Kreindler, H., C.B. Lewis, S. Rush, K. Schaefer: Effects of three exercise protocols on strength of persons with osteoarthritis of the knee. *Top Geriat Rehabil* 4, (1989) 32-39.
31. Kujala, U.M., J. Kettunen, H. Paananen, T. Aalto, M.C. Battié, O. Impivaara, T. Videman, S. Sarna: Knee osteoarthritis in former runners, soccer players, weight lifters, and shooters. *Arthritis Rheum.* 38, (1995) 539-546.
32. Lane, N.E., J.A. Buckwalter: Exercise: A cause of osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North Am* 19, (1993) 617-633.
33. Leddy, J.J., N.M. Fisher, R.J. Smolinski, et al: Effects of exercise rehabilitation on muscle function, activity and joint spaces in patients with osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc* 26 (suppl.), (1994) 142.
34. McAlindon, T.E., C. Cooper, J.R. Kirwan, P.A. Dieppe: Determinants of disability in osteoarthritis of the knee. *Ann Rheum Dis* 52, (1993) 258-262.
35. Madsen, O.R., H. Bliddal, C. Egsmose, J. Sylvest: Isometric and isokinetic quadriceps strength in gonarthrosis; interrelations between quadriceps strength, walking-ability, radiology, subchondral bone density and pain. *Clin Rheumatol* 14, (1995) 308-314.
36. Marks, R.: The effect of isometric quadriceps strength training in midrange for osteoarthritis of the knee. *Arthritis Care Res* 6, (1993) 52-56.
37. Marks, R.: The effect of 16 months of angle-specific isometric strengthening exercises in midrange on torque of the knee extensor muscles in osteoarthritis of the knee: A case study. *Arthritis Care Res* 20, (1994) 103-109.
38. Martin, D.F.: Pathomechanics of knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc* 26, (1994) 1429-1434.
39. Mayer, F., T. Horstmann, W. Küswetter, H.-H. Dickhuth: Isokinetik - Eine Standortbestimmung. *Dt. Z. Sportmed.* 45, (1994) 272-287.
40. Mills, E.M.: The effect of low intensity aerobic exercise on muscle strength, flexibility, and balance among sedentary elderly persons. *Nursing Res* 43, (1994) 207-211.
41. Minor, M.A., J.E. Hewett, R.R. Weibel, S.K. Anderson, D.R. Kay: Efficacy of physical conditioning exercise in patients with rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 32, (1989) 1396-1405.
42. Panush, R.S., N.E. Lane: Exercise and the musculoskeletal system. *Bailliere's Clin Rheumatol* 8, (1994) 79-101.
43. Philbin, E.F., G.D. Groff, M.D. Ries, T.E. Miller: Cardiovascular fitness and health in patients with end-stage osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism* 38, (1995) 799-805.
44. Ries, M.D., E.F. Philbin, G.D. Groff: Relationship between severity of gonarthrosis and cardiovascular fitness. *Clin Orthop* 313, (1995) 169-176.
45. Scott, W.W., R. Reichle, F.M. Wigley, J.D. Tobin, C.E.J. Lethbridge, M.C. Hochberg: Reliability of grading scales for individual radiographic features of osteoarthritis of the knee. The Baltimore longitudinal study of aging atlas of knee osteoarthritis. *Invest Radiol* 28, (1993) 497-501.
46. Spector T.D., P.A. Harris, D.J. Hart, F.M. Cicuttini, D. Nandra, J. Etherington, R.L. Wolman, D.V. Doyle: Risk of osteoarthritis associated with long-term weight-bearing sport. *Arthritis Rheum.* 39, (1996) 988-995.
47. Tan J., N. Balci, V. Sepici, F.A. Gener: Isokinetic and isometric strength in osteoarthritis of the knee. *Am J Phys Med Rehabil* 74, (1995) 364-369.
48. Ytterberg, S.R., M.L. Mahowald, H.E. Krug: Exercise for arthritis. *Baillière's Clin Rheumatol* 8, (1994) 161-189.
49. Zülch, H., U. Weber: Lehrbuch Orthopädie: mit Repetitorium. Berlin, New York 1989.

Anschrift für die Autoren s. S. 329