

» Beurteilung des Rehabilitationsfortschritts mittels Oberschenkelumfangmessung

Zusammenfassung. Fragestellung: Oberschenkelumfangmessungen wurden wiederholt zur Beurteilung des Rehabilitationsfortschritts herangezogen, obwohl bisher ein Zusammenhang zwischen dem Oberschenkelumfang und anderen funktionellen Messungen nicht untersucht wurde. Ziel dieser Studie war daher, einen solchen Zusammenhang nachzuweisen. **Methode:** 15 Frauen mit bilateraler Gonarthrose nahmen an dieser Studie teil. Isokinetische Kniestreckerkraft, Oberschenkelumfang und Körpergewicht wurden unmittelbar vor, sowie sechs Wochen und sechs Monate nach der Implantation einer zementfreien Knieendoprothese gemessen. **Ergebnisse:** Die betroffene Seite zeigte deutliche Kraftdefizite und eine geringe Verringerung des Oberschenkelumfanges im Seitenvergleich. Postoperativ nahm das Kraftdefizit ab, während die Differenz des Oberschenkelumfanges zunahm. Die Veränderung des Oberschenkelumfanges korrelierte gut mit der Veränderung des Körpergewichts, nicht aber mit der Veränderung der Kniestreckkraft. **Schlussfolgerung:** Oberschenkelumfangänderungen werden hauptsächlich durch das Körpergewicht bedingt, daher kann die Oberschenkelumfangmessung nicht zur Quantifizierung des Rehabilitationserfolges herangezogen werden.

Schlüsselwörter: Kniegelenkersatz – Rehabilitation – Oberschenkelumfang – Isokinetik

Quantification of Rehabilitation Progress by Thigh Girth Measurements. Question: Thigh girth measurements have been widely used to quantify rehabilitation progress following knee surgery, but the correlation between thigh girth and other functional measures has not been investigated. This study intended to investigate whether such a correlation exists. **Methods:** 15 women with bilateral osteoarthritis of the knee participated in this study. Isokinetic knee extensor strength, thigh girth and body mass were measured immediately before, then at six weeks and six months following cementless total knee arthroplasty. **Results:** The involved side showed clear pre-operative isokinetic knee extensor strength deficits, and slight reductions in thigh girth. Post-operatively, mean strength deficits were reduced, whereas differences in mean thigh girth became larger. Although thigh girth changes correlated well with body mass, they did not correlate with knee extensor strength. **Conclusion:** Changes in thigh girth are mainly due to changes in body mass. Thigh girth measurement is of no use for the quan-

P. Nicolakis¹, M. Nicolakis², R. Dorotka², G. Ebenbichler¹, E. Uher¹

¹ Universitätsklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation, AKH Wien, Währinger Gürtel 18 – 20, A-1090 Wien

² Universitätsklinik für Orthopädie, AKH Wien, Währinger Gürtel 18 – 20, A-1090 Wien

tification of the rehabilitation progress in total knee arthroplasty.

Key words: Total knee arthroplasty – rehabilitation – thigh girth – isokinetic

Einleitung

Eine durch Immobilisation bedingte Oberschenkelatrophie ist hauptsächlich auf einen Rückgang der Muskelmasse des M. quadriceps zurückzuführen [1], die ischiokrurale Muskulatur bleibt relativ unbeeinträchtigt [2]. Dieser Mechanismus führt bei Gonarthrose zu einem Ungleichgewicht zwischen Kniestreckern und -beugern, der in einer reduzierten Kniestreckkraft resultiert [3]. Nach einer Implantation einer Knieendoprothese kann diese Atrophie weiter zunehmen [4,5]. Eine Reflexhemmung des M. quadriceps könnte hierfür verantwortlich sein [6,7].

Hauptziele in der Rehabilitation nach Endoprothesenimplantation sind eine Reduktion der Schwellung und Schmerzen, Verbesserung des Bewegungsausmaßes und der Kraft der Kniestrecker und -beuger [8]. Eine Normalisierung der Funktion der ischiokruralen Muskulatur kann in sieben bis zwölf Monaten erwartet werden, die Normalisierung der Quadricepsfunktion bleibt aber normalerweise zurück [3]. Da ein ausgewogenes Kraftverhältnis zwischen Kniestreckern und -beugern für einen normalen Gang benötigt wird [3], liegt ein Hauptaugenmerk auf der Verbesserung der Quadricepsfunktion, wobei sich diese häufig sehr schwierig und zeitaufwendig gestaltet [9]. Zur objektiven Beurteilung der Quadricepsfunktion wurden wiederholt isokinetische Kraftmessungen [3,10,11] herangezogen. Diese zeigen eine gute Korrelation mit dem Rehabilitationsfortschritt [12], und scheinen das funktionelle Ergebnis zuverlässiger zu messen als Knie-Scores [3].

Neben isokinetischen Messungen wurden auch Oberschenkelumfangsmessungen verwendet [13,14,15,16]. Diese sind genauso reproduzierbar und genau wie die Computertomographie [17]. Zusätzlich sind sie jederzeit einfach und kostengünstig verfügbar. Ihr Einsatz dürfte auf der Annahme beruhen, dass Muskelkraft [18] und Muskelleistung [19] sehr eng mit dem Muskelquerschnitt verbunden sind.

Bisher wurde aber der Wert der Oberschenkelumfangmessung zur Beurteilung des Rehabilitationsverlaufes nicht unter-

sucht. Ziel dieser Studie war daher herauszufinden, ob Änderungen des Oberschenkelumfanges tatsächlich mit Änderungen der Kniestreckkraft korrelieren.

Material und Methode

Insgesamt nahmen 15 Frauen mit beidseitiger Gonarthrose an der Studie teil. Folgende Einschlusskriterien mussten erfüllt sein: Alter über 50 und unter 76 Jahren, beidseitige Gonarthrose, Erstimplantation einer Knieendoprothese, und keine weiteren Totalendoprothesen. Beeinträchtigte Mobilisation durch Begleiterkrankungen (z. B. chronische Polyarthrit, neurologische Erkrankungen), beidseitiger Gelenkersatz und das Auftreten von intraoperativen oder postoperativen Komplikationen waren Ausschlusskriterien. Allen Patientinnen wurde mittels medialem parapatellaren Zugang eine zementfreie totale Knieendoprothese (System PCA Modular, Firma Howmedica) implantiert. Am achten postoperativen Tag wurden die Patientinnen zur weiteren Rehabilitation für zwei Wochen in ein Rehabilitationszentrum transferiert. Das Rehabilitationsprogramm bestand aus aktiver und passiver Physiotherapie.

Vor jeder isokinetischen Kraftmessung wurde jede Patientin klinisch und radiologisch auf Zeichen einer Prothesenlockerung untersucht. Nur bei unauffälligem Untersuchungsergebnis, und nach neuerlicher Einwilligung in die isokinetische Untersuchung wurde die Kraftmessung durchgeführt.

Unmittelbar vor, sechs Wochen und sechs Monate nach der Operation, wurden 1. das isokinetische maximale Drehmoment bei Winkelgeschwindigkeiten von 30°/s, 60°/s, 90°/s und 120°/s, 2. der Oberschenkelumfang zehn Zentimeter oberhalb der Patella und 3. das Körpergewicht bestimmt.

Die isokinetischen Messungen wurden mit einem Cybex 6000 Dynamometer (Lumex Inc., Ronkonkoma, NY, USA) durchgeführt. Die Patientinnen saßen aufrecht, mit 90° flektierten Hüften. Zur Stabilisierung wurden sie mittels Gurten am Brustkorb, Becken und getestetem Oberschenkel fixiert. Die Achse des Dynamometers wurde auf die Kniegelenkdrehachse eingerichtet, und der Hebelarm unmittelbar proximal der Malleoli befestigt. Die Länge des Hebelarms, die anteroposteriore Position des Dynamometers und die Höhe des

Dynamometers wurden notiert und wurden bei allen folgenden Untersuchungen beibehalten, um die Reliabilität zu verbessern [20,21]. Das nicht operierte Bein wurde zuerst getestet. Alle Patientinnen wurden angewiesen das Knie so schnell, kräftig und vollständig zu beugen und zu strecken, wie es ihnen möglich war. Nachdem die Patientinnen zwei Minuten aufgewärmt hatten, führten sie fünf isokinetische Kniebeuge- und -streckbewegungen mit den oben angeführten Winkelgeschwindigkeiten durch. Zwischen den einzelnen Untersuchungen bestand eine einminütige Pause.

Statistik

Alle Daten wurden mit dem Statistics Package for Social Sciences (SPSS Inc., Chicago, Illinois) durchgeführt. Der Pearsonsche Korrelationskoeffizient wurde zur Berechnung eines Zusammenhanges zwischen prozentuellen Änderungen des maximalen Drehmomentes, des Oberschenkelumfanges und des Körpergewichtes verwendet.

Resultate

Das mittlere Alter der 15 Frauen betrug $68,6 \pm 2,8$ Jahre. Bei 14 Patientinnen wurde das dominante Knie operiert. Eine Patientin lehnte die Kraftmessung sechs Wochen nach der Operation ab, willigte aber der Untersuchung sechs Monate nach der Operation ein.

Bei der Erstuntersuchung betrug der Oberschenkelumfang auf der operierten Seite 50,3 cm, auf der nicht betroffenen Seite 50,9 cm. Dies entsprach einem Oberschenkelumfangquotient von 98,6%. Die isokinetische Kraftmessung ergab ein Kraftdefizit der betroffenen Seite, wobei der Kraftquotient zwischen 61,0% und 67,7% betrug (Tab. 1).

Sechs Wochen nach der Operation nahm der Oberschenkelumfang um 0,7% auf der operierten Extremität zu, und um -1,4% auf der nicht operierten Seite ab. Gleichzeitig kam es zu einem Kraftzuwachs der betroffenen Seite bei 60°/s (+22,5%), 90°/s (+16,2%), und 120°/s (+13,9%). Lediglich bei 30°/s (-5,3%) kam es zu einer Kraftreduktion. Die nicht betroffene Seite zeigte bei allen untersuchten Winkelgeschwindigkeiten einen Kraftzuwachs (3,0%; 10,3%; 8,6%; 6,3%). Das Körpergewicht zeigte eine Reduktion von -3,1%. Die Korrelation

Tab. 1 Mittlerer ($\pm$ STD) Oberschenkelumfang 10 cm über der Patella (cm), maximales Drehmoment (Nm) und Körpergewicht (kg) vor, sechs Wochen nach, und sechs Monate nach der Operation

	präoperativ	Quotient	sechs Wochen nach Op	Quotient	sechs Monate nach Op	Quotient
Oberschenkelumfang						
betroffen	50,2 ($\pm 8,0$)	98,6%	49,6 ($\pm 6,7$)	101 %	51,9 ($\pm 7,4$)	98,5
nicht betroffen	50,9 ($\pm 7,8$)		49,4 ($\pm 6,8$)		52,7 ($\pm 7,2$)	
maximales Drehmoment						
30°/s betroffen	45,3 ($\pm 24,5$)	61 %	44,1 ($\pm 18,6$)	61 %	52,4 ($\pm 21,7$)	72 %
nicht betroffen	73,9 ($\pm 32,1$)		72,9 ($\pm 33,8$)		72,4 ($\pm 26,3$)	
60°/s betroffen	38,5 ($\pm 23,1$)	61 %	42,7 ($\pm 22,1$)	65 %	48,7 ($\pm 20,3$)	75 %
nicht betroffen	63,0 ($\pm 29,6$)		64,9 ($\pm 29,3$)		65,3 ($\pm 25,4$)	
90°/s betroffen	32,3 ($\pm 22,5$)	62 %	38,9 ($\pm 22,9$)	70 %	41,8 ($\pm 21,3$)	72 %
nicht betroffen	51,6 ($\pm 28,5$)		55,3 ($\pm 26,4$)		58,2 ($\pm 24,7$)	
120°/s betroffen	28,9 ($\pm 20,7$)	68 %	28,7 ($\pm 10,5$)	61 %	36,5 ($\pm 16,8$)	73 %
nicht betroffen	42,7 ($\pm 24,1$)		46,9 ($\pm 24,1$)		50,1 ($\pm 22,3$)	
Körpergewicht	76,7 ($\pm 13,4$)		72,5 ($\pm 11,3$)		75,3 ($\pm 12,4$)	

zwischen prozentueller Veränderung des Oberschenkelumfanges und prozentueller Veränderung der Kniestreckkraft war nicht signifikant. Demgegenüber bestand eine signifikante Korrelation mit dem Körpergewicht (Pearson 0,70; $p < 0,01$) (Tab. 2).

Sechs Monate nach der Operation vergrößerte sich der Oberschenkelumfang beidseits und war größer als bei der Erstuntersuchung (+3,4%; +3,5%), wobei es aber zu einer Verringerung des Oberschenkelumfangquotienten auf 98,5% kam. Die operierte Seite zeigte bei allen Kraftmessungen eine Zunahme (8,0%; 35,9%; 37,4%; 10,9%), während die nicht operierte Seite lediglich bei 90°/s (9,8%) und 120°/s (10,5%) einen Kraftzuwachs aufwies, und bei 30°/s (-5,6%) und 60°/s (-3,9%) eine Abschwächung zeigte. Der Kraftquotient nahm deutlich zu und lag zwischen 71,8% und 74,6%. Das Körpergewicht war weiterhin niedriger als bei der Erstuntersuchung (-1,5%). Auch für den Zeitraum präoperativ bis sechs Monate postoperativ konnte keine Korrelation zwischen dem Oberschenkelumfang und der Kniestreckkraft gefunden werden. Neuerlich zeigte aber das Körpergewicht eine hohe Korrelation mit dem Oberschenkelumfang (Pearson 0,83; $p < 0,01$) (Tab. 2).

Diskussion

In mehreren Studien wurde der Oberschenkelumfang als Zielparame- ter zur Beurteilung des Rehabilitationsfortschrittes verwendet [13,14,15,16]. Da der Zusammenhang bisher nicht bewiesen wurde, war das Ziel dieser Studie festzustellen, ob Veränderungen des Oberschenkelumfanges auf den Fortschritt des Rehabilitationsprozesses rückschließen lassen. Zur Beurteilung des Rehabilitationsprozesses wurde die Messung der isokinetischen Kniestreckkraft verwendet. Einerseits konnte sie zeigen, dass sie den Rehabilitationsprozess [12,17] und funktionelle Änderungen nach Kniegelenkersatzoperationen [3] gut widerspiegeln, andererseits sollte sie in direktem Zusammenhang mit dem Oberschenkelumfang stehen [17,18,19].

Da eine Oberschenkelatrophie hauptsächlich durch einen Rückgang der Quadricepsmuskulatur hervorgerufen wird, und die ischiokrurale Muskulatur fast nicht betroffen ist [1,2], wurde in dieser Studie nur die Kniestreckkraft berücksichtigt, und auf die Beurteilung der Beuger verzichtet.

Wie in einer früheren Arbeit [3] nahm die Kniestreckkraft nach der Knieprothesenimplantation zu, erreichte aber nicht das Kraftniveau der nicht betroffenen Seite. Auch der Oberschenkelumfang hatte sechs Monate nach der Operation

zugenommen, aber es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Veränderungen des Oberschenkelumfanges und der Kraftentwicklung. Auch im Seitenvergleich verhielt sich der Oberschenkelumfang und die Extensorenkraft nicht einheitlich: Sechs Monate nach der Operation nahm der Oberschenkelumfangindex ab – entsprechend einer Zunahme der Oberschenkelatrophie im Seitenvergleich – obwohl der Kraftindex zunahm. Demgegenüber bestand eine deutliche Korrelation zwischen Veränderungen des Oberschenkelumfanges und dem Körpergewicht.

Die fehlende Korrelation zwischen Oberschenkelumfang und Kniestreckkraft könnte durch eine Veränderung des Verhältnisses zwischen Muskelmasse und Fettgewebe hervorgerufen werden. Es konnte gezeigt werden, dass eine Immobilisation zu einer Abnahme der Muskelmasse und Zunahme des subkutanen Fettgewebes führt [1]. Diese Veränderung kann sich bereits durch vier Wochen Training zurückbilden [1]. Desweiteren zeigte ein Krafttraining der unteren Extremitäten bei gesunden Probandinnen zwar einer Zunahme des Muskelquerschnittes, aber auch eine Reduktion des subkutanen Fettgewebes, wodurch es zu keiner Änderung des Oberschenkelumfanges kam, obwohl es zu einem Anstieg der isotonen Kraft kam [23].

Weiters können neuromuskuläre Faktoren verantwortlich sein. Durch Schmerz kommt es zu einer verminderten Muskelaktivierung durch Inhibition von motorischen Einheiten [7]. Immobilisation führt zu einer Reduktion der Muskelmasse [24] und Muskelkraft [25], Verringerung der elektromyographischen Aktivität [26], Veränderung des Innervationsmusters [27], Reduktion der maximalen Entladungsfrequenz der Motoneuronen [28] und Veränderungen der motorischen Endplatte [29]. Da keine Korrelation zwischen Kraftreduktion und Oberschenkelquerschnitt nach 10 und 20 Tagen Bettruhe gefunden werden konnte [24], wird angenommen, dass eine Modifikation der Aktivierung von Muskeln durch die oben erwähnten Veränderungen, zur Reduktion der Muskelkraft beitragen. Die Rückbildung von einigen dieser Vorgänge, könnte ohne begleitende Muskelhypertrophie, zu einer Kraftzunahme nach Immobilisation beigetragen haben. So konnte gezeigt werden, dass eine Reduktion der Koaktivierung der Antagonisten, und nicht so sehr durch eine vermehrte Agonistenaktivierung, eine vermehrte Kraftentwicklung bewirkte, wobei keine Zunahme der Muskelmasse der Knieextensoren auftrat [30,31].

Neben den oben erwähnten neuromuskulären Veränderungen resultiert die Immobilisation auch in einer Reorganisation des Bindegewebes, wobei es zu einer Einlagerung von Kollagen

Tab. 2 Korrelation (Pearson) zwischen Kniestreckkraftänderung (%) und Oberschenkelumfangänderung (%), und zwischen Körpergewichtsänderung (%) und Oberschenkelumfangänderung (%)

	Oberschenkelumfangänderung (%) prä-op bis 6 Wochen post-op	Oberschenkelumfangänderung (%) prä-op bis 6 Wochen post-op
Kniestreckkraftänderung (%) bei 30°/s	-0,16	-0,01
Kniestreckkraftänderung (%) bei 60°/s	-0,12	-0,01
Kniestreckkraftänderung (%) bei 90°/s	-0,17	-0,06
Kniestreckkraftänderung (%) bei 120°/s	0,07	0,05
Körpergewichtsänderung (%)	0,70*	0,83*

mit vermehrten Querverbindungen kommt [32]. Dieser Prozess beginnt bereits nach einer Woche [33] und führt zu einer Zunahme des passiven Widerstandes gegen Bewegung [34]. Die Reduktion dieses passiven Widerstandes während der Rehabilitation könnte auch zu einer Zunahme des Kniestreckkraft beigetragen haben.

Konklusion

Entsprechend unseren Resultaten werden Veränderungen des Oberschenkelumfangs hauptsächlich durch Veränderungen des Körpergewichts hervorgerufen. Die Kniestreckkraft korreliert nicht mit dem Oberschenkelumfang. Die Oberschenkelumfangmessung zum Nachweis der Muskelkraft ist daher – zumindest nach Knieprothesenimplantation – in der Rehabilitation von zweifelhaftem Wert.

Literatur

- ¹ Ingemann-Hansen T, Halkjaer-Kristensen J. Lean and fat component of the human thigh. *Scand J Rehab Med* 1977; 9: 67–72
- ² Vegso JJ, Genuario SE, Torg JS. Maintenance of hamstring strength following knee surgery. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17: 376–379
- ³ Berman AT, Bosacco SJ, Israelite C. Evaluation of total knee arthroplasty using isokinetic testing. *Clin Orthop* 1991; 271: 106–113
- ⁴ Baugher WH, Warren RF, Marshall JL, Joseph A. Quadriceps atrophy in the anterior cruciate insufficient knee. *Am J Sports Med* 1984; 12: 192–195
- ⁵ Nicholas JA, Strizak AM, Veras G. A study of thigh muscle weakness in different pathological states of the lower extremity. *Am J Sports Med* 1976; 4: 241–248
- ⁶ Morrissey MC. Reflex inhibition of thigh muscles in knee injury. Causes and treatment. *Sports Med* 1989; 7: 263–276
- ⁷ Stokes M, Young A. The contribution of reflex inhibition to arthrogenous muscle weakness. *Clin Sci* 1984; 67: 7–14
- ⁸ Brotzmann SB. *Handbook of orthopaedic rehabilitation* Mosby St. Louis 1998;
- ⁹ Eriksson E. Rehabilitation of muscle function after sport injury – major problem in sports medicine. *Int J Sports Med* 1981; 2: 1–6
- ¹⁰ Gore DR, Murray NW, Sepic SB, Gardner GM. Correlations between objective measures of function and a clinical knee rating scale following total knee replacement. *Orthopedics* 1986; 9: 1363–1367
- ¹¹ Murray MP, Gore DR, Lancy WH, Gardner GM, Mollinger LA. Kinesiologic measurements of functional performance before and after double compartment Marmor knee arthroplasty. *Clin Orthop* 1983; 173: 191–199
- ¹² Wilk KE, Remaniello WT, Soscia SM, Arrigo CA, Andrews JR. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *J Orthop Sports Phys Ther* 1994; 20: 60–73
- ¹³ Arciero RA, Scoville CR, Hayda RA, Snyder RJ. The effect of tourniquet use in anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective, randomized study. *Am J Sports Med* 1996; 24: 758–764
- ¹⁴ Petschnig R, Baron R. Assessment of metabolic response and functional changes after anterior cruciate ligament surgery. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 3–9
- ¹⁵ Morrissey MC, Brewster CE, Shields CLJ, Brown M. The effects of electrical stimulation on the quadriceps during postoperative knee immobilization. *Am J Sports Med* 1985; 13: 40–45
- ¹⁶ Currier DP, Ray JM, Nyland J, Rooney JG, Noteboom JT, Kellogg R. Effects of electrical and electromagnetic stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993; 17: 177–184
- ¹⁷ Renstrom P, Grimby G, Morelli B, Palmertz B. Thigh muscle atrophy in below-knee amputees. *Scand J Rehabil Med Suppl* 1983; 9: 150–162
- ¹⁸ Maughan RJ, Watson JS, Weir J. Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects. *Br J Sports Med* 1984; 18: 149–157
- ¹⁹ Harman E, Frykman P, Kraemer W. Maximal cycling force and power at 40 and 100 RPM. *Nat Strength Cond Assoc J* 1986; 8: 71–75
- ²⁰ Davies GJ. *A compendium of isokinetics in clinical usage* S & S Publishers La Crosse 1985;
- ²¹ Bandy WDMS. Intramachine and intermachine reliability for selected dynamic muscle performance test's. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993; 18: 609–613
- ²² Tovin BJ, Wolf SL, Greenfield BH, Crouse J, Woodfin BA. Comparison of the effects of exercise in water and on land on the rehabilitation of patients with intra-articular anterior cruciate ligament reconstructions. *Phys Ther* 1994; 74: 1165–1174
- ²³ Staron RS, Malicky ES, Leonardi MJ, Falkel JE, Hagerman FC, Dudley GA. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance trained women. *Eur J Appl Physiol* 1990; 60: 71–79
- ²⁴ Suzuki Y, Murakami T, Haruna Y et al. Effects of 10 and 20 days bed rest on leg muscle mass and strength in young subjects. *Acta Physiol Scand* 1994; 146: 5–18
- ²⁵ MacDougall JD, Elder GC, Sale DG, Maroz JR, Sutton JR. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur J Appl Physiol* 1980; 43: 25–34
- ²⁶ Fournier M, Roy RR, Perham H, Simard CP, Edgerton VR. Is limb immobilization a model of muscle disuse? *Exp Neurol* 1983; 80: 147–156
- ²⁷ Fischbach GD, Robbins N. Changes in contractile properties of disused soleus muscles. *J Physiol Lond* 1969; 201: 305–320
- ²⁸ Duchateau J, Hainaut K. Effects of immobilization on contractile properties, recruitment and firing rates of human motor units. *J Physiol Lond* 1990; 422: 55–65
- ²⁹ Pachter BR, Eberstein A. Neuromuscular plasticity following limb immobilization. *J Neurocytol* 1984; 13: 1013–1025
- ³⁰ Carolan B, Cafarelli E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J Appl Physiol* 1992; 73: 911–917
- ³¹ Jones DA, Rutherford OM. Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology* 1982; 391: 1–11
- ³² Akeson WH, Amiel D, Mechanic GL, Woo SL, Harwood FL, Hamer ML. Collagen cross-linking alterations in joint contractures: changes in the reducible cross-links in periarticular connective tissue collagen after nine weeks of immobilization. *Connect Tissue Res* 1977; 5: 15–19
- ³³ Kottke FJ, Pauley DL, Ptak RA. The rationale for prolonged stretching for correction of shortening of connective tissue. *Arch Phys Med Rehabil* 1966; 47: 345–352
- ³⁴ Heerkens YF, Woittiez RD, Huijings PA, Huson A, van-Ingen SG, Rozendal RH. Passive resistance of the human knee: the effect of immobilization. *J Biomed Eng* 1986; 8: 95–104

Peter Nicolakis

Universitätsklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation
AKH Wien
Währinger Gürtel 18–20
1090 Wien
Österreich