

Teilbelastung in der Rehabilitation

Vermittlungsstrategien und Grenzen

Verletzungen und chronische Erkrankungen von Knochen, Muskeln, Sehnen oder Bändern führen zu einer Einschränkung der Mobilität. Ziel sowohl einer konservativen Therapie als auch eines operativen Eingriffs am muskuloskelettalen System ist immer die möglichst vollständige Wiederherstellung der verloren gegangenen Mobilität. Zur Erreichung dieses Ziels sind rehabilitative Maßnahmen unabdingbar. Die möglichst frühzeitige Mobilisation beschleunigt den Heilungsprozess und verbessert die Funktionalität [31].

Vermittlung und Reproduzierbarkeit der Teilbelastung

Teilbelastung – Definition

Eine häufig angewendete Methode bei der sukzessiven Mobilisation ist die so genannte Teilbelastung. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch Reduktion der Belastung die betroffenen muskuloskelettalen Strukturen wie auch eventuell eingebrachte Implantate (Osteosynthesen, Prothesen, Nahtmaterial) geschont werden.

Die Vorteile der Teilbelastung gegenüber einer Immobilisation sind dabei nicht von der Hand zu weisen: die ursprüngliche Stabilität von Sehnen, Bändern und Knochen kann erhalten werden, Sehnen werden besser durchblutet und auch die Ausrichtung und das Re-

modeling der Kollagenfasern erfolgen früher [31].

Die von der Teilbelastung erhoffte Schonung der muskuloskelettalen Strukturen und Implantate soll durch die Limitierung der lokal wirkenden Kräfte erreicht werden. Dabei muss unterschieden werden zwischen Strukturen, die das Körpergewicht tragen müssen und solchen, auf die keine Körperlast wirkt. Bei den nicht Last tragenden Strukturen wird die Teilbelastung durch eine Limitierung des Bewegungsausmaßes und der äußeren Lasten (z. B. Gewichte) erreicht. Bei den Last tragenden Strukturen der unteren Extremität soll die Limitierung der Kräfte durch die Reduktion der aufgebrachten Körperlast erfolgen.

Eine mögliche Abstufung der Belastung kann dabei wie folgt vorgenommen werden: als Entlastung wird die Belastung mit 0% des Körpergewichts (KG) bezeichnet, die Zehenbelastung soll nur zur Sicherung des Gleichgewichts dienen und liegt im Bereich bis zu 20% des KG. Die Teilbelastung (TB) hingegen beschreibt eine Belastung der Extremität mit 30–50% des KG, die selbsttoleriertere Belastung ist schmerzgesteuert und liegt im Bereich von 50–100% des KG. Ohne jegliche Beschränkungen der Belastung spricht man schließlich von der Vollbelastung.

Wie viel Prozent des Körpergewichts jedoch für die Belastung vorgegeben wird, hängt vom Operateur, dem Grund der Operation (Totalendoprothese [TEP], Fraktur, Arthrodesen), dem verwendeten Implantat sowie von der individuellen Situation des Patienten (Knochenstatus, Verlauf der Operation, Le-

bensalter) ab. Die am häufigsten verordnete Teilbelastung liegt im Bereich von 10–50% des KG.

Die Verordnung von Teil- oder Vollbelastung ist jedoch selbst bei standardisierten Eingriffen wie Hüft- oder Knie-TEPs sehr individuell von der Entscheidung des behandelnden Arztes geprägt (■ Tab. 1; [18]).

So herrscht bei zementierten Prothesen fast Einigkeit unter den Operateuren, eine Vollbelastung zuzulassen (92 und 80% der Operateure). Bei Endoprothesen, die ohne Zement eingebracht werden, ist die Verordnung von Voll- oder Teilbelastung jedoch eher unklar. Auch wenn die Mehrheit der Operateure nur eine Teilbelastung zulässt, erlauben über 1/3 (Hüft-TEP) bzw. fast die Hälfte der Operateure (Knie-TEP) eine Vollbelastung.

Vermittlung und Kontrolle von Teilbelastung

Für die Schulung der Teilbelastung können verschiedene Methoden und Hilfsmittel eingesetzt werden [15]. Die einfachste Methode ohne jeglichen Einsatz von Hilfsmitteln liegt in der klinischen Untersuchung. Hierbei wird die Belastung während des Gehens durch Beobachtung des Patienten oder auch durch Palpation der beteiligten Muskeln (bei Armbewegungen) eingeschätzt. Diese Methode ist zwar sehr einfach, aber die Beurteilung sehr ungenau und auch rein subjektiv.

Die bereits erwähnte und wohl am häufigsten verwendete Methode ist die Schulung mittels einer Personenwaage. Der Patient soll anhand von mehrma-

I. Klöpfer-Krämer · P. Augat
**Teilbelastung in der Rehabilitation.
Vermittlungsstrategien und Grenzen**

Zusammenfassung

Nach Verletzungen oder operativen Eingriffen am muskuloskelettalen System ist das Ziel immer die möglichst vollständige Wiederherstellung der verloren gegangenen Mobilität. Mittels Mobilisation unter Teilbelastung (TB) kann dieses Ziel erreicht werden. Zu den meistgewählten Vermittlungsstrategien zählt die Einübung der TB mittels einer herkömmlichen Personenwaage. Dieses Verfahren zeigt sich zwar als einfach sowie zeit- und kostengünstig, allerdings stellt sich die Frage nach der Übertragbarkeit auf die Alltagssituationen des Patienten. Wichtig erscheinen hierbei v. a. das Einüben und auch die Kontrolle der TB unter dynamischen Bedingungen, also während des Gehens, dem treppauf- oder treppab gehen. Wie ver-

schiedene Untersuchungen gezeigt haben, konnten die wenigsten der rekrutierten Probanden die vorgegebene Teilbelastung tatsächlich einhalten. Zudem werden bei den Teilbelastungsvorgaben nur die äußeren Kräfte (Bodenreaktionskräfte), nicht aber die im Gelenk durch Muskeln, Faszien und Bänder auftretenden Momente berücksichtigt. Die Problematik von Vermittlung und Einhaltung der Teilbelastung muss jedoch auch der nach wie vor ungeklärten Frage von postoperativer Teil- vs. Vollbelastung gegenüber gestellt werden.

Schlüsselwörter

Rehabilitation · Teilbelastung · Vermittlungsstrategien · Feedback · Gelenkbelastung

Partial weight-bearing in rehabilitation. Strategies for instruction and limitations

Abstract

Following trauma or surgery on the musculoskeletal system the primary aim is always as complete a restitution of mobility as possible. By mobilization with partial weight-bearing this is possible. The preferred way of teaching partial weight-bearing is the use of conventional bathroom scales. This method proves to be simple as well as time and cost-saving, but the transferability to the patient's daily life is questionable. Training and control of partial weight-bearing under dynamic conditions, such as normal walking, and walking up and down stairs seem to be very important. Different investigations have shown that the minority of subjects recruited could manage

to maintain the given load of partial weight-bearing. Furthermore, the actual resulting moments within the joints, caused by muscles, fascia and tendons, are not considered in presets of partial weight-bearing, as only external forces (ground reaction forces) are measured. However, the problems in teaching partial weight-bearing have to be contrasted with the as yet unexplained issue of postoperative partial versus full weight-bearing.

Keywords

Rehabilitation · Partial weight-bearing · Strategies for instruction · Feedback · Joint loads

ligem Belasten der betroffenen Extremität auf der Waage erlernen und sich merken, wie sich die richtige Teilbelastung „anfühlt“. Diese Methode liefert zwar schon konkretere Werte der Belastung und ist objektiv, allerdings ist zum einen die Genauigkeit der Waagen begrenzt, zum anderen geben sie nur die statische Situation wieder (■ **Abb. 1**).

Möglich ist auch der Einsatz von Kraftmessplatten, welche die Bodenreaktionskräfte, beispielsweise im Rahmen einer Ganganalyse, mit höchster Genauigkeit und in der Regel auch dreidimensional wiedergeben. Diese Methode ermöglicht dynamische Messungen, ist allerdings auch komplizierter und aufwendiger: der Patient muss zur Schulung der Teilbelastung mehrmals über die Kraftmessplatte gehen. Das hat zur Konsequenz, dass dieses Verfahren für Patienten mit unzureichender Ausdauer möglicherweise ungeeignet ist. Aus ökonomischer Sicht ist dieses System aufwendiger, da es bereits in der Anschaffung teuer ist und zudem auch qualifiziertes Personal zur Verfügung stehen muss, welches das System bedient und die Daten interpretiert.

Zu guter Letzt gibt es noch portable Messsysteme, die als Druckmesssohle im Schuh oder auch über dem Schuh getragen werden und die plantare Druckverteilung während des Gehens erfassen. Aus den Druckwerten und der belasteten Sohlenfläche kann schließlich die Kraft berechnet werden. Manche dieser Systeme sind auch bereits mit einer Feedbackfunktion ausgestattet: die individuelle Teilbelastung wird vorab eingestellt und bei Erreichen des Schwellwerts wird z. B. ein Vibrations- oder Tonsignal abgegeben. Der große Vorteil dieser Systeme ist, dass mit ihnen realistisch die Alltagssituation des Patienten wiedergegeben und evaluiert werden kann, da sie dynamisch einsetzbar sind. Nachteilig sind hohe Anschaffungskosten und etwaige Kabel, die von den Messsohlen zu einer portablen Messeinheit führen sowie die Messeinheit selbst (evtl. inklusive Stromversorgung), die der Patient an einem Gürtel am Körper trägt. Dies kann den Patienten in seiner Bewegungsausführung beeinflussen.

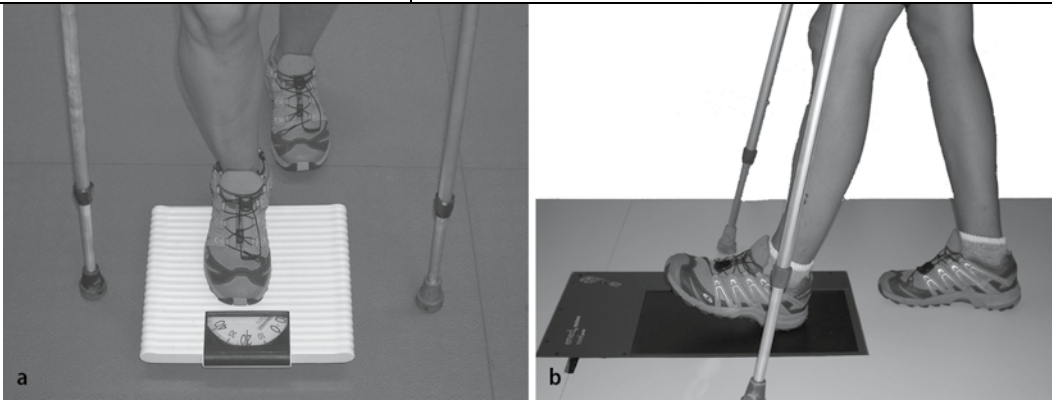


Abb. 1 ◀ Methoden zur Vermittlung und Kontrolle der Teilbelastung. **a** Patient auf herkömmlicher Personenwaage, **b** Patient auf einer Messplatte

Studien zur Teilbelastung

Zahlreiche Studien zu verschiedenen Vermittlungsstrategien und dem Vermögen zur Einhaltung einer vorgegebenen Belastung sind bereits vorhanden. Diese können unterteilt werden in Studien, die sich mit der Reproduzierbarkeit der Belastungsvorgabe beschäftigen, und jene, welche die Effektivität verschiedener Feedbackarten überprüfen. Dabei zeigte nahezu die Hälfte der Studien zur Reproduzierbarkeit, dass es den Probanden nicht möglich war, die vorgegebene Teilbelastung einzuhalten [9, 16, 18, 19, 20, 28, 29, 34]. In den Studien zur Thematik Feedback konnte hingegen in 90% der Fälle die Einhaltung der Teilbelastung von den Probanden durch die Feedbackschulung verbessert werden [11, 13, 14, 16, 17, 21, 24, 25, 30, 33].

Reproduzierbarkeit – Einhaltung der vorgegebenen Teilbelastung

In allen herangezogenen Studien zur Reproduzierbarkeit zeigte sich, dass die Patienten große Schwierigkeiten hatten, die ihnen vorgegebene Teilbelastung einzuhalten. Die tatsächliche Belastung der betroffenen Extremität wurde dabei mittels Ganganalyse mit instrumentierten Gehstützen (integrierte Kraftaufnehmer [18]) oder mit einem portablen System zur Messung der plantaren Druckverteilung [29] quantifiziert. Überschreitungen der Vorgabe um 100% und mehr waren dabei keine Seltenheit.

Zudem zeigte sich am Beispiel von Patienten mit Hüft- und Knie-TEPs als allgemeine Tendenz, dass bei niedrigen Belastungsvorgaben die Überschreitung deutlich größer ist als bei höheren Vorgaben (■ **Tab. 2**). Dies führt dazu, dass

die tatsächliche Belastung immer in etwa gleich hoch ist, unabhängig von der Vorgabe der Teilbelastung.

Ein weiterer Einflussfaktor der Reproduzierbarkeit ist das Lebensalter. Ältere Patienten in einem Alter von über 60 Jahren haben größere Schwierigkeiten, die Teilbelastung einzuhalten. An einer Probandengruppe mit Frakturen an der unteren Extremität (Weber B und C; Tibiaschaft-, -kopffraktur, Femurschaft- und -halsfraktur) wurde die Belastungsvorgabe auf 200 N festgelegt. Dabei belasteten die jüngeren Patienten ihr verletztes Bein im Mittel mit 315 N und die Älteren sogar mit 430 N [29], also doppelt so stark wie vorgesehen.

Als Gründe für eine Nichteinhaltung der Teilbelastung [18] werden dabei folgende Punkte angegeben:

- fehlendes Feedback für den Patienten zu seiner aktuellen Belastung;
- plantare Sensorik des Menschen ungenügend – je geringer die zulässige Belastung, desto größer die Wahrscheinlichkeit der Nichteinhaltung;
- motorisch-koordinative Defizite beim Gang mit Gehstützen – zu später Aufsatz und zu frühes Hochnehmen der Gehstützen;
- Probleme mit Gelenkarthrosen (Hand, Finger), die das Gehen mit Gehstützen erschweren;
- mangelnde Kraft in der Schulter-, Arm- und Rumpfmuskulatur für das Gehen mit Gehstützen.

Effektivität von Feedbacksystemen

Wie erwähnt, ist fehlendes Feedback ein häufiger Grund für die Nichteinhaltung der TB. Um dem entgegen zu wirken, stehen in der Therapie verschiedene Arten von Feedback zur Verfügung. Bei

den technischen Hilfsmitteln wird nach Zwangssystemen, die über ein Gurtsystem und Flaschenzug den Patienten bis zur geforderten Teilbelastung entlasten, oder den bereits erwähnten portablen Feedbacksystemen unterschieden. Die portablen Systeme können beispielsweise in Form von Druckmesssohlen im oder über dem Schuh getragen werden. Des Weiteren kann das Feedback auch verbal über einen Therapeuten erfolgen und dabei in Umfang und Zeitpunkt variieren.

Ob Feedback (technische Hilfsmittel, verbal, oder beides in Kombination) die Einhaltung der Teilbelastung verbessern kann, wurde bereits mehrfach wissenschaftlich untersucht.

Portable Messsysteme. Dabei hat sich der Vorteil der portablen Messsysteme, nämlich auch dynamisch und in Alltagssituationen des Patienten zu messen, als sehr effektiv erwiesen. Durch das Feedback bei jedem Schritt ergibt sich für den Patienten eine hohe Übungsdichte, sodass sich das Gefühl für die richtige Belastung schneller festigen kann. Zudem erhält der Patient das Feedback direkt in einer realistischen Alltagssituation wie Gehen oder Treppensteigen, es ist also kein Transfer des Gelernten vom Patienten nötig. Bei der Belastungsschulung mittels herkömmlicher Personenwaage erfolgt das Lernen hingegen nur in der statischen Situation. Der Patient muss also das Gefühl für die richtige Belastung selbst auf die dynamische Situation des Gehens oder Treppensteigens übertragen.

So kann ein portables Feedbacksystem (■ **Abb. 2**), kombiniert mit dem verbalen Feedback eines Therapeuten, eine signifi-

kant bessere Einhaltung der Belastungsvorgabe bewirken als mit der klassischen Teilbelastungsschulung [14].

Methodenschulung. Ein Vergleich vor und nach einer Schulung mit diesen Feedbackmethoden zeigte, dass nach der Schulung die Belastungsvorgabe im Mittel exakt eingehalten wurde, während die Vorgabe vor der Schulung im Mittel um das 2,5-fache überschritten wurde.

Die Vermittlung der Teilbelastung lässt sich am effektivsten durch ein direktes Feedback realisieren. Zur Umsetzung in den klinischen Alltag ist dafür ein methodischer und v. a. personeller Aufwand notwendig, der selbst in spezialisierten Rehabilitationseinrichtungen nur schwer erbracht werden kann. Hier besteht eindeutiger Bedarf an kostengünstigen und einfach zu bedienenden Feedbacksystemen.

Teilbelastungsvorgaben

Neben der Einhaltung der Teilbelastung ist jedoch auch die Beibehaltung der Leistung von Interesse. Nach der Entlassung aus der Klinik und ohne Aufsicht durch einen Therapeuten soll es dem Patienten möglich sein, die Teilbelastung einzuhalten. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dies den Patienten meist nicht gelingt [16], was an verschiedenen Faktoren liegt:

- an der Höhe der vorgegebenen Teilbelastung (hohe TB-Vorgabe – relativ gute Einhaltung, niedrige TB-Vorgabe – schlechte Einhaltung der Vorgabe, **Tab. 3**),
- an den Umgebungsbedingungen (in der Klinik oder zuhause) sowie
- an der Dauer der postoperativen Phase.

Wird die Teilbelastung zeitnah zur Operation im Umfeld der Klinik geübt, kann sie relativ gut eingehalten werden. Fallen diese Rahmenbedingungen jedoch weg, wie z. B. nach der Entlassung aus der Klinik, gelingt dies oft nicht mehr.

- An 2 Probandengruppen mit unterschiedlichen Teilbelastungsvorgaben (10 und 50% des KG) wurde unter verschiedenen Umgebungsbedingungen, nämlich
- a) in der Klinik mit Physiotherapeut,
 - b) in der Klinik ohne Therapeut,
 - c) nach der Entlassung zuhause.

Tab. 1 Verordnungen von Voll- oder Teilbelastung nach Hüft- oder Knie-TEP. (Nach Jöllenbeck u. Schönle [18])

	Vollbelastung (% des KG)	Teilbelastung (% des KG)
Hüft-TEP (n=4249)		
Zementiert	92	8
Zementfrei	34	66
Knie-TEP (n=2493)		
Zementiert	8	20
Zementfrei	40	60

TEP Totalendoprothese, KG Körpergewicht.

Tab. 2 Mittlere Überlastung ($\bar{x} \pm SD$) in Abhängigkeit von der vorgegebenen Teilbelastung (TB). (Nach Jöllenbeck et al. [18])

TB-Vorgabe (kg)	5–10	15–20	25–30	35–40
Überlastung (kg)	35,2±22,3	25,9±20,5	16,1±15,9	17,1±18,0

die tatsächliche Belastung mittels eines portablen Messsystems erfasst. Dabei überschritten die Patienten mit der niedrigeren TB-Vorgabe in jeder Umgebungsbedingung ihre Vorgabe, während die Patienten mit der TB-Vorgabe von 50% des KG zumindest unter Bedingung a) keine Überschreitung zeigten. Die Anwesenheit eines Physiotherapeuten hatte allerdings keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Schritte, mit denen die TB-Vorgabe überschritten wurde. Unter Bedingung c), wenn sich der Patient zuhause bewegt, sind die Spitzenbelastungen allerdings deutlich höher als in der Klinik (um bis zu 17%).

Die Gründe für die deutlichen Überschreitungen der Belastungsvorgabe nach der Entlassung liegen vermutlich in der Reduktion der Schmerzen seit der Operation sowie der insgesamt größeren Anzahl zurückgelegter Schritte. Die größere Schrittzahl erhöht generell das Risiko, das Bein zu überlasten und auch die mentale und körperliche Ermüdung des Patienten. Damit wird die Fähigkeit, die betroffene Extremität mit der korrekten Technik zu entlasten, reduziert. Generell wird die Compliance der Patienten zur Teilbelastung zuhause eher abnehmen, was dazu führt, dass oftmals nur eine oder gar keine Gehstütze verwendet wird. Das bestätigt auch die Aussage eines weiteren Autors [14], dass eine Teilbelastungsschulung für ca. 6 Wochen gültig ist, danach aber optimalerweise in

Tab. 3 Auftretende Kräfte im Hüftgelenk bei Patienten mit implantierter telemetrischer Hüftprothese. (Nach Bergmann et al. [4])

Belastung	% des KG
Einbeinstand	245
Gehen 6 km/h	470
Gehen Treppauf	280
Leichtes Stolpern	870

der Wohnung des Patienten wiederholt werden müsste.

Äußere vs. innere Kräfte

Bestimmung der tatsächlichen Belastung

Ein Problem bei der Festlegung einer geeigneten Teilbelastung besteht in der Bestimmung der tatsächlichen Belastung, die auf die jeweiligen muskuloskelettalen Strukturen wie Gelenke, Knochen oder Bänder wirkt. So werden aktuell nur die äußerlich auftretenden Kräfte, die Bodenreaktionskräfte, angegeben. Die in den Gelenken entstehenden Kräfte und Momente bleiben unberücksichtigt und können um ein Vielfaches größer sein als die Teilbelastungsvorgabe. Diese hohen Kräfte entstehen durch gelenkübergreifende Muskeln, die Zugspannung von Faszien, Bändern und Sehnen sowie die im Körper vorliegenden Hebelverhältnisse. Diese im Gelenk entstehenden Kräfte können z. B. mittels Ganganalyse und biomechanischen Modellen inversdynamisch berechnet oder anhand instrumentierter Endoprothesen in vivo gemessen werden. Hierzu wurden bereits Messungen mit telemetrischen Prothesen in Hüfte, Knie, Schulter und Wirbelsäule bei verschiedenen Alltagstätigkeiten durchgeführt [3]. So konnten an Patienten mit instrumentierten Hüftprothesen Gelenkbelastungen zwischen dem doppelten und dem 8-fachen des KG bestimmt werden.



Abb. 2 ◀ Portables Messsystem: Messsohle im Schuh

Auch einfache Bewegungen, die dem Patienten erlaubt sind oder auch in der Therapie ausgeführt werden, wurden von Bergmann et al. [4] nachgestellt und es zeigten sich extrem hohe Belastungen in den Gelenken. Beispielsweise führt das Anheben des Beckens aus der Rückenlage zu einer Belastung des Hüftgelenks mit 380% des KG oder das Anheben des kontralateralen Beins im Liegen zu immerhin 170% des KG im betroffenen Hüftgelenk. Das Gehen mit 2 Gehstützen führt im Hüftgelenk zu einer Belastung von bis zu 250% des KG anstatt den von der Teilbelastung erhofften 10–50% des KG.

Kräfte der Muskulatur

Bei den Gewicht tragenden Strukturen der unteren Extremität spielen also nicht nur das Körpergewicht, sondern vielmehr die Kräfte der Muskulatur die entscheidende Rolle bei der mechanischen Belastung von Knochen und Gelenken. Bei der oberen Extremität, der keine Gewicht tragende Rolle zukommt, bestimmen hauptsächlich die durch die Muskulatur aktiv aufgebrauchten Kräfte die Größe der mechanischen Belastung. Dabei können die inneren Kräfte auf Grund der ungünstigen Hebelverhältnisse für die Muskeln sehr hohe Werte annehmen. So können z. B. alltägliche Belastungen (Greifen, Heben, Drehen) zu Kräften von mehr als 3000 N im Ellbogengelenk [1] und mehr als 1500 N im Handgelenk [8] führen.

Aus direkten Messungen der Kontaktkräfte im Schultergelenk mit einer instru-

mentierten Schulterendoprothese wissen wir, dass auch dort enorme Kräfte auftreten können. Durch eine reine Abduktionsbewegung des Arms ohne Last wirkten am Humeruskopf maximale Kontaktkräfte von annähernd 800 N [4, 32]. Durch zusätzliche Lasten (z. B. Heben einer Kaffeekanne) können Reaktionskräfte im Schultergelenk die Größe der Körpergewichtskraft leicht überschreiten.

Mobilisation in Etappen

Um demnach auch in den nicht Last tragenden Gelenken die inneren Kräfte zu reduzieren und eine „Teilbelastung“ zu erreichen, muss die postoperative Mobilisation in Etappen durchgeführt werden. Als erstes sollte eine rein passive Mobilisation erfolgen, da hierfür keine Muskelaktivität von Nöten ist und somit keine durch Muskelspannung erhöhten Kontaktkräfte auftreten. Ist die Konsolidierung weiter fortgeschritten und die Belastbarkeit des Gelenks erhöht, kann mit einer aktiven Mobilisation fortgefahren werden. Der letzte logische Schritt in der Rehabilitation wäre dann schließlich das muskuläre Aufbau-training mit Zusatzlast.

Notwendigkeit der Teilbelastung

Eine nach wie vor ungeklärte Problematik ist auch die Frage nach der Notwendigkeit einer Teilbelastungsvorgabe oder der Freigabe der Vollbelastung. Die Belastungsvorgabe bei Endoprothesen der Hüfte oder des Knies richtet

sich meist nach der Verankerungstechnik, wobei für zementierte Prothesen die Vollbelastung z. T. bereits ab dem 1. Tag postoperativ erlaubt wird. Für unzementierte Hüftendoprothesen wird für ca. 6 Wochen postoperativ eine Teilbelastung verordnet [7].

In verschiedenen Studien [2, 5, 6, 10, 22, 23, 26, 27] wurde ein Vergleich zwischen Patientengruppen mit postoperativ verordneter Teilbelastung und Patienten mit Belastungsfreigabe durchgeführt. Keine dieser Studien konnte jedoch einen signifikanten Unterschied in der Prothesenmigration zwischen den Gruppen mit Teil- und Vollbelastung nachweisen. Es wurde auch kein Fall einer frühzeitigen Prothesenlockerung nach Vollbelastung angegeben. Das Fazit dieser Studien ist die Freigabe der Belastung nach Versorgung mit Endoprothesen, jedoch meist mit der Einschränkung auf Patienten jüngerer Alters mit guter Knochenqualität.

In der Diskussion um die Teilbelastung sollte jedoch auch der psychologische Aspekt nicht außer Acht gelassen werden. So wird dem Patient durch Werbestrategien von Implantatherstellern der Eindruck vermittelt, dass z. B. nach Implantation einer Endoprothese keine Anpassung sportlicher Aktivitäten oder des Lebensstils notwendig ist. Solch ein Verhalten kann jedoch zu Überlastung durch extreme Aktivität oder Stolpern durch Unachtsamkeit (bis 870% des KG) führen.

Vor allem bei Osteosynthesen kann durch Teilbelastung die Dauerlast auf das Implantat reduziert und dadurch auch ein frühzeitiges Implantatversagen vermieden werden. Solange eine Fraktur noch nicht konsolidiert ist, muss ein Implantat die gesamte Last übernehmen, die normalerweise der Knochen trägt. Da Implantate unter kontinuierlicher dynamischer Belastung eine begrenzte Festigkeit haben [12], kann es im Falle von Überlastung (z. B. Nichteinhaltung der Teilbelastung) bei unvollständiger Knochenheilung zu einem verfrühten Implantatbruch kommen.

Fazit für die Praxis

Die Ergebnisse verschiedener Studien haben gezeigt, dass den Patienten die Einhaltung der Teilbelastungsvorgabe

umso schwerer fällt, je geringer die vorgegebene Belastung ist. Zudem kann die Teilbelastung zwar während des Klinikaufenthalts und der stationären Rehabilitation noch erlernt werden, allerdings ist die Beibehaltungsleistung eher gering, sodass die Nachhaltigkeit im poststationären Verlauf abnimmt. Aus den Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen bzgl. des Erlernens und Übens der Teilbelastung geht hervor, dass die beste Methode die Feedbackmethode mittels portabler Messsysteme ist, da nur so dem Patienten für jeden Schritt ein unmittelbares Feedback zur tatsächlichen Belastung gegeben wird. Leider ist dennoch aus zeitlichen und finanziellen Gründen die Schulung mittels einer herkömmlichen Personenwaage in vielen Kliniken verbreitet, obwohl diese Methode sehr ungenau ist. Bezüglich einer Belastungsempfehlung für Patienten nach endoprothetischer Versorgung kann tendenziell auf die bisher bereits umgesetzten Vorgaben verwiesen werden: bei zementierten Prothesen ist die sofortige Vollbelastung möglich, bei den per Pressfit eingebrachten Prothesen ist hingegen die Teilbelastung vorzuziehen. Zu guter Letzt ist allerdings anzumerken, dass gerade bei geriatrischen Patienten die Einhaltung der Teilbelastung aufgrund der Komorbiditäten problematisch ist.

Korrespondenzadresse

Dr. I. Klöpfer-Krämer



Institut für Biomechanik,
BG Unfallklinik Murnau,
Prof.-Küntscher-Str. 8,
82418 Murnau am Staffelsee
isabella.kloepfer-kraemer@bgu-
murnau.de

Prof. P. Augat



Institut für Biomechanik,
BG Unfallklinik Murnau
Prof.-Küntscher-Str. 8,
82418 Murnau am Staffelsee

Interessenkonflikt. Die korrespondierenden Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Amis AA, Dowson D, Wright V (1980) Elbow joint force predictions for some strenuous isometric actions. *J Biomech* 13(9):765–775
- Bayram U, Vas K, Izge G, Salih A (2004) Comparison of two different rehabilitation programmes for thrust plate prosthesis: a randomized controlled study. *Clin Rehabil* 18:84–91
- Bergmann G (ed) (2009) Charite – Universitätsmedizin Berlin (2008) OrthoLoad. Zugriff unter <http://www.OrthoLoad.com>
- Bergmann G, Graichen F, Bender A et al (2007) In vivo glenohumeral contact forces-measurements in the first patient 7 months postoperatively. *J Biomech* 40(10):2139–2149
- Boden H, Per A (2004) No adverse effects of early weight bearing after uncemented total hip arthroplasty – a randomized study of 20 patients. *Acta Orthop Scand* 75(1):21–29
- Bottner F, Zawadsky M, Su EP et al (2005) Implant migration after early weightbearing in cementless hip replacement. *Clin Orthop Relat Res* 436:132–137
- Breusch S, Mau H, Sabo D (2006) Klinikleitfaden Orthopädie – Konservative und operative Orthopädie und Unfallchirurgie. Elsevier, München
- Chadwick EK, Nicol AC (2000) Elbow and wrist joint contact forces during occupational pick and place activities. *J Biomech* 33(5):591–600
- Chow SP, Cheng CL, Hui PW et al (1992) Partial weight bearing after operations for hip fractures in elderly patients. *J R Coll Surg Edinb* 37(4):261–262
- Dominkus M, Funovics P, Schwameis E (1999) Frühzeitige Belastung nach zementfreien Hüfttotalendoprothesen – Eine Pfannenmigrationsanalyse. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 137:442–446
- Engel J, Amir A, Messer E, Caspi I (1983) Walking cane designed to assist partial weight bearing. *Arch Phys Med Rehabil* 64(8):386–388
- Gaebler C, Stanzl-Tschegg S, Tschegg EK et al (1999) Implant failure of the gamma nail. *Injury* 30(2):91–99
- Gray FB, Gray C, McClanahan JW (1998) Assessing the accuracy of partial weight-bearing instruction. *Am J Orthop* 27(8):558–560
- Hershko E, Tauber C, Carmeli E (2008) Biofeedback versus physiotherapy in patients with partial weight-bearing. *Am J Orthop* 37(5):E92–E96
- Hurkmans HL, Bussmann JB, Benda E et al (2003) Techniques for measuring weight bearing during standing and walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 18(7):576–589
- Hurkmans HL, Bussmann JB, Selles RW et al (2007) The difference between actual and prescribed weight bearing of total hip patients with a trochanteric osteotomy: long-term vertical force measurements inside and outside the hospital. *Arch Phys Med Rehabil* 88(2):200–206
- Isakov E (2007) Gait rehabilitation: a new biofeedback device for monitoring and enhancing weight-bearing over the affected lower limb. *Eura Medicophys* 43(1):21–26
- Jöllenbeck T, Schönle C (2005) Die Teilbelastung nach Knie- oder Hüfttotalendoprothese: Unmöglichkeit der Einhaltung, ihre Ursachen und Abhilfen. *Z Orthop* 143:124–128
- Li S, Armstrong CW, Cipriani D (2001) Three-point gait crutch walking: variability in ground reaction force during weight bearing. *Arch Phys Med Rehabil* 82(1):86–92
- Malviya A, Richards J, Jones RK et al (2005) Reproducibility of partial weight bearing. *Injury* 36(4):556–559
- Miyazaki S, Iwakura H (1978) Limb-load alarm device for partial-weight-bearing walking exercise. *Med Biol Eng Comput* 16(5):500–506
- Ng FY, Zhu Y, Chiu KY (2007) Cementless acetabular component inserted without screws – the effect of immediate weight-bearing. *Int Orthop (SI-COT)* 31:293–296
- Ornstein E, Franzen H, Johnsson R et al (2003) Hip revision with impacted morselized allografts: unrestricted weight-bearing and restricted weight-bearing have similar effect on migration – a radiostereometry analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 123:261–267
- Perren T, Matter P (1996) Feedback-controlled weight bearing following osteosynthesis of the lower extremity. *Swiss Surg* 2(6):252–258
- Stangl R, Hennig FF, Gusinde J (2004) The biofeedback sole tested is a suitable device for avoiding overload under partial load. *Unfallchirurg* 107(12):1162–1168
- Ström H, Nilsson O, Milbrink J et al (2007) The effect of early weight bearing on migration pattern of the uncemented CLS stem in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 22(8):1122–1129
- Thien TM, Ahnfelt L, Eriksson M et al (2007) Immediate weight bearing after uncemented total hip arthroplasty with an anteverted stem: a prospective randomized comparison using radiostereometry. *Acta Orthop* 78(6):730–738
- Tveit M, Karrholm J (2001) Low effectiveness of prescribed partial weight bearing. Continuous recording of vertical loads using a new pressure-sensitive insole. *J Rehabil Med* 33(1):42–46
- Vasarhelyi A, Baumert T, Fritsch C et al (2006) Partial weight bearing after surgery for fractures of the lower extremity – is it achievable? *Gait Posture* 23(1):99–105
- Warren CG, Lehmann JF (1975) Training procedures and biofeedback methods to achieve controlled partial weight bearing: an assessment. *Arch Phys Med Rehabil* 56(10):449–455
- West JL, Keene JS, Kaplan LD (2008) Early motion after quadriceps and patellar tendon repairs: outcomes with single-suture augmentation. *Am J Sports Med* 36(2):316–323
- Westerhoff P, Graichen F, Bender A et al (2009) An instrumented implant for in vivo measurement of contact forces and contact moments in the shoulder joint. *Med Eng Phys* 31(2):207–213
- Winstein CJ, Pohl PS, Cardinale C et al (1996) Learning a partial-weight-bearing skill: effectiveness of two forms of feedback. *Phys Ther* 76(9):985–993
- Youdas JW, Kotajarvi BJ, Padgett DJ, Kaufman KR (2005) Partial weight-bearing gait using conventional assistive devices. *Arch Phys Med Rehabil* 86(3):394–398