

Krafttraining bei Frauen mit generalisierter Hypermobilität: Machbarkeit, Beschwerden und Effekte

Eine Pre-post-Studie

Resistance Training in Women with Generalized Joint Hypermobility: Feasibility, Symptoms and Effects

A Pre-post Study

Autorinnen/Autoren

Gere Luder^{1, 2}, Christine Mueller Mebes^{1, 3}, Bettina Haupt-Bertschy¹, Martin L. Verra¹, Daniel Aeberli⁴, Jean-Pierre Baeyens^{2, 5}

Institute

- 1 Institut für Physiotherapie, Universitätsspital Bern, Inselspital, Bern, Schweiz
- 2 Physical Education and Physiotherapy, Vrije Universiteit Brussel, Brüssel, Belgien
- 3 Physio Postmarkt AG, Grenchen, Schweiz
- 4 Universitätsklinik für Rheumatologie und Immunologie, Universitätsspital Bern, Inselspital, Bern, Schweiz
- 5 Thimm van der Laan AG, Internationale Hochschule für Physiotherapie THIM, Landquart, Schweiz

Schlüsselwörter

Hypermobilitätssyndrom, Maximalkraft, Schnellkraft, Muskelquerschnitt, Physiotherapie

Key words

hypermobility syndrome, maximum strength, rate of force development, muscle cross-section, physiotherapy

eingereicht 15.08.2022

akzeptiert 11.02.2023

Artikel online veröffentlicht 29.03.2023

Bibliografie

physioscience 2023; 19: 86–94

DOI 10.1055/a-1947-7842

ISSN 1860-3092

© 2023. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Gere Luder, PT MSc

Institut für Physiotherapie, Universitätsspital Bern, Inselspital
CH-3010 Bern, Schweiz
gere.luder@insel.ch

 Zusätzliches Material finden Sie unter
<https://doi.org/10.1055/a-1947-7842>

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Eine generalisierte Hypermobilität liegt vor, wenn die Beweglichkeit in mehreren Gelenken das übliche Maß übersteigt. Bis zu 30 % der Frauen und 10 % der Männer sind davon betroffen. Hypermobilität ist keine Pathologie, wenn sie jedoch mit Schmerzen und weiteren Symptomen einhergeht, kann sie die Gesundheit und Alltagsfunktionen beeinträchtigen. Zur physiotherapeutischen Behandlung gibt es wenige Studien, wobei Krafttraining eine mögliche Intervention sein könnte.

Ziel Erfassung der Machbarkeit und des Effekts eines Krafttrainings für Frauen mit generalisierter Hypermobilität.

Methode Pre-post-Studie, in der hypermobile Frauen (Beighton-Score > 5) zwischen 20 und 40 Jahren während 12 Wochen ein Krafttraining an Geräten, fokussiert auf Beine und Rücken, absolvierten. Mithilfe eines Protokolls und wöchentlicher Fragebogen wurden das Training und dadurch ausgelöste Beschwerden analysiert. Vor und nach dem Training wurde die Kraft der Knieflexoren und -extensoren sowie der Muskelquerschnitt am Oberschenkel gemessen. Die Analyse erfolgte primär deskriptiv, zusätzlich erfolgte ein Vergleich von 2 Subgruppen mittels Mann-Whitney-U und Chi²-Test.

Ergebnisse 46 Teilnehmerinnen ($26,3 \pm 4,3$ Jahre) absolvierten das Training. 6 davon brachen die Studie vorzeitig ab, davon eine wegen Rückenschmerzen aufgrund einer Diskushernie. 72,5 % der verbleibenden 40 Teilnehmerinnen absolvierten 20 oder mehr Trainings. In 34 % der Trainingswochen wurden geringe Beschwerden angegeben, mehrheitlich an Knie und Rücken. Der Einsatz der verwendeten Gewichte war oft tief, so wurde auf der Legpress mit durchschnittlich 44,8 % des Körpergewichts begonnen, nach 12 Wochen lag das Trainingsgewicht im Mittel bei 52,2 kg, was 85,7 % des Körpergewichts entspricht. Bei der Kraft und beim Muskelquerschnitt wurden keine signifikanten Verbesserungen erreicht, wobei bis zu 17 Teilnehmerinnen (42,5 %) eine Verbesserung von mehr als 10 % erreichten.

Schlussfolgerung Das Krafttraining war für die meisten Teilnehmerinnen machbar und gut verträglich. Das mehrheitlich selbstgesteuerte Training war zu wenig intensiv, um eindeutige Auswirkungen auf Kraft oder Muskelmasse zu erreichen, obwohl einzelne Teilnehmerinnen durchaus davon profitierten. In weiteren Studien sollten individuellere und enger begleitete Trainingsprogramme untersucht werden.

ABSTRACT

Background Generalised hypermobility is when the mobility in several joints exceeds the usual level. Up to 30 % of women and 10 % of men are affected. Hypermobility is not a pathology, but when it is accompanied by pain and other symptoms, it can affect health and daily function. There are few studies on physiotherapy treatment, although strength training could be a possible intervention.

Aim To assess the feasibility and effect of strength training for women with generalised hypermobility.

Methods In a pre-post study, hypermobile women (Beighton-on-Score > 5) aged 20–40 years underwent 12 weeks of strength training on machines focused on legs and back. A training protocol and weekly questionnaires were used to ana-

lyse the training and the resulting symptoms. The strength of the knee flexors and extensors and the muscle cross-section of the thigh were measured before and after the training.

Results 46 participants (26.3 ± 4.3 years) completed the training. 6 of them dropped out prematurely, one because of back pain due to lumbar disc hernia. 72.5 % of the remaining 40 participants completed 20 or more training sessions. In 34 % of the training weeks mostly minor complaints were reported, mainly in the knees and back. The weights used were often low, i.e., on the leg press they started with an average of 44.8 % of body weight and after 12 weeks the average weight was 52.2 kg, which corresponds to 85.7 % of body weight. Whether strength nor cross-sectional area showed significant improvements, however up to 17 participants (42.5 %) achieved improvements of more than 10 %.

Conclusion Strength training was feasible and well tolerated by most participants. The mostly self-directed training was not intensive enough to achieve clear effects on strength or muscle mass, even if some participants have clearly benefited. More individualised and closely supervised programmes should be investigated in future studies.

Einleitung

Eine generalisierte Gelenkhypermobilität (Generalized Joint Hypermobility, GJH) liegt vor, wenn der Bewegungsumfang in mehreren Gelenken das übliche Maß übersteigt. Sie wird in der Regel mit dem Beighton-Score festgestellt, der eine übermäßige Beweglichkeit im Daumen und kleinen Finger, Ellenbogen, Knien und bei der Rumpf-Vorneigung überprüft [1]. Je nach Definition und Bevölkerungsgruppe liegt die Prävalenz der GJH zwischen 10 % und 35 %, wobei Frauen deutlich häufiger betroffen sind als Männer [2, 3]. So befanden Scheper et al. [4] bei einem Cut-off von 4/9 Punkten 31,9 % der Frauen und 9,7 % der Männer in einer großen Gruppe von Studierenden als hypermobil. Bei einem Cut-off von 6/9 Punkten waren noch 13,9 % Frauen und 1,5 % Männer hypermobil. Generell nimmt die Beweglichkeit mit zunehmendem Alter ab, was durch niedrigere Cut-offs bei älteren Personen deutlich wird [3].

Eine GJH ist noch keine klinische Diagnose. Zahlreiche Personen mit GJH zeigen kaum Symptome und für manche Sportarten oder beim Tanzen kann es sogar von Vorteil sein, eine ausgeprägte Beweglichkeit zu besitzen [5, 6]. Allerdings kann eine generell erhöhte Gelenkbeweglichkeit zu klinischen Symptomen führen und mit weiteren Syndromen verknüpft sein. Dazu gehören einerseits muskuloskelettale Beschwerden, wie Distorsionen, Subluxationen oder Muskelschmerzen, andererseits Zeichen einer systemischen Beteiligung der Haut, der Gefäße oder verschiedener Organe [7]. Lange Zeit wurden hypermobile Personen mit solchen Symptomen anhand der Brighton-Kriterien [8] mit einem Hypermobilitätssyndrom (Joint Hypermobility Syndrome, JHS) diagnostiziert. Nach langer Diskussion, ob es sich bei JHS und dem hypermobilen Typ des Ehlers-Danlos-Syndroms (EDS) um die gleiche

Entität handelt, wurde 2017 eine neue Nosologie für das EDS entwickelt [9]. Im Rahmen dieses Prozesses wurden die Definitionen und Klassifikationen für das Spektrum der mit GJH assoziierten Störungen ebenfalls überarbeitet. Der Begriff JHS wurde verworfen und als neue Bezeichnung wurde „Hypermobility Spectrum Disorder“ (HSD) eingeführt. Damit werden Personen diagnostiziert, die eine GJH und verschiedene Symptome aufweisen, die nicht die formalen Kriterien für das hypermobile Ehlers-Danlos-Syndrom (hEDS) erfüllen [7].

Unabhängig von der differenzierten Diagnose kann eine GJH zu Problemen bei Aktivitäten des täglichen Lebens führen und ist manchmal mit verschiedenen Beeinträchtigungen verbunden. Scheper et al. [10] stellten 2016 mittels Meta-Analyse fest, dass Personen mit GJH öfter unter Schmerzen, Müdigkeit und Behinderungen leiden als Kontrollpersonen. In 2 weiteren Übersichtsarbeiten wurde gezeigt, dass Menschen mit GJH eine höhere Prävalenz und Inzidenz von Verletzungen der unteren Extremitäten aufweisen [11, 12]. Eine dänische Studie ergab, dass Personen mit GJH mit höherer Wahrscheinlichkeit Knie- oder Schulterschmerzen haben und es bis zu viermal wahrscheinlicher ist, dass sie einige Aktivitäten aufgrund der Symptome vermeiden [13, 14]. Im Sinne einer Prävention könnte es für Personen mit GJH entscheidend sein, aktiv zu trainieren, um langfristig alltägliche und arbeitsbezogene Aktivitäten ohne Einschränkungen durchführen zu können. Weiter ist es wichtig, Gelenk- und Muskelschmerzen, Funktionsverlust und Behinderungen sowie mögliche durch GJH bedingte Langzeitfolgen zu verhindern.

Im Hinblick auf mögliche Interventionen wurden bisher nur wenige Studien durchgeführt. Für Personen mit GJH konnte eine Studie ohne Kontrollgruppe positive Effekte für Physiotherapie des Kiefergelenkes nachweisen [15], 1 britische Studie konnte

zeigen, dass Personen mit GJH und vorderem Knieschmerz in ähnlicher Weise Kraft aufbauen können wie Kontrollpersonen [16]. Einige weitere Studien fanden bei Personen mit JHS positive Effekte durch komplexe Interventionen mit Übungen, Beratung und manueller Therapie oder durch angeleitete Heimprogramme [17]. Ein aktuelles Review über 8 Studien stellte fest, dass keine bis geringe Evidenz für die Wirksamkeit verschiedener konservativer Interventionen besteht [17]. Darum basiert das therapeutische Management von Personen mit GJH und JHS weiterhin primär auf Erfahrung und der Meinung von Expert*innen [18].

Der Vergleich von Personen mit GJH und mit normaler Gelenkbeweglichkeit zeigt mehrere Unterschiede. So zeigte eine Studie mit 328 Erwachsenen, dass diejenigen mit GJH weniger Kraft in Knie, Hüfte, Schulter und Unterarm besaßen und weniger körperliche Aktivitäten ausführten [4]. Eine frühere Studie der gleichen Forschungsgruppe der vorliegenden Studie mit 195 Teilnehmenden zeigte Unterschiede bei der neuromuskulären Kontrolle beim Gehen [19] und Treppensteigen [20] sowie bei Kraft, Gleichgewicht und der passiven anterioren Translation der Tibia [21, 22]. Menschen mit GJH weisen somit neuromuskuläre und muskuloskelettale Abweichungen auf, insbesondere Kraftdefizite, die sie möglicherweise anfälliger für die Entwicklung von Symptomen machen. Es ist daher wichtig zu untersuchen, ob solche Defizite durch Training verbessert werden können.

In der Physiotherapie ist Krafttraining als Intervention zur Verbesserung von Kraft und Muskelmasse sowie zum Funktionsgewinn und Abbau von Beeinträchtigungen bereits lange durch Studien belegt [23]. Für gesunde Personen wird ebenfalls regelmäßige Bewegung allgemein empfohlen und Krafttraining gilt als wichtiges Element für die Prävention von Krankheiten und Verletzungen [24]. Dabei können abhängig von Trainingsform, Intensität und Dauer des Trainings Verbesserungen der Kraft von 15–30 % erreicht werden, wobei Frauen mehrheitlich höhere relative Veränderungen erreichen als Männer [23, 25]. Für verschiedene Gruppen wurde gezeigt, dass Krafttraining positive Effekte hat, z. B. für ältere Personen [26], bei Rückenschmerzen [27], Kniesthrose [28] sowie bei Fibromyalgie [29]. Es gibt hingegen kaum Studien mit jüngeren Personen, insbesondere mit jüngeren Frauen und mit Personen mit GJH oder JHS.

Daher wurde in einem zweiteiligen Projekt ein Krafttrainingsprogramm für Frauen mit GJH durchgeführt und evaluiert. Das progressive Trainingsprogramm an Geräten konzentrierte sich auf die Verbesserung der Kraft und Muskelmasse der Beine und des Rumpfes. Der erste Teil in Form einer randomisierten Studie fokussierte auf die Effektivität des Trainings [30]. Die hier vorgelegte Studie stellt den zweiten Teil dar, deren primäres Ziel die Machbarkeit des Trainings und die Untersuchung möglicher negativer Auswirkungen war. Ergänzend wurde der unmittelbare Effekt des 12-wöchigen Trainingsprogramms auf die Kraft und den Muskelquerschnitt analysiert.

Methode

In der vorgelegten Studie werden Kraft und Muskelmasse der Beine und des Rumpfes von Frauen mit GJH vor und nach einem 12-wöchigen Krafttraining für Beine und Rücken an Geräten ver-

gleichen (pre-post). Es handelt sich um eine zusätzliche Analyse im Nachgang einer bereits publizierten randomisierten Studie mit Interventions- und Kontrollgruppe [30]. Den Frauen in der damaligen Kontrollgruppe ohne Intervention wurde nach der Studie das Krafttrainingsprogramm der Interventionsgruppe angeboten. Im Anschluss wurden die Daten aller Probandinnen vor und nach dem Training ausgewertet und miteinander verglichen.

Die Primärstudie wurde prospektiv als ISRCTN90224545 registriert (www.isrctn.com, BMC, Springer Nature), die Bewilligung zur Durchführung wurde von der Ethikkommission des Kantons Bern, Schweiz, erteilt (Nr. 222/12). Alle Teilnehmerinnen gaben ihr schriftliches Einverständnis und die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Das Reporting in diesem Artikel lehnt sich an das „Quality Assessment Tool for Before-After (Pre-Post) Studies With No Control Group“ an [31]. Das Krafttraining als Intervention wird gemäß den Vorgaben der TIDieR-Checkliste [32] für Interventionen beschrieben.

Teilnehmerinnen

Für die Studie wurden Frauen im Alter von 20–40 Jahren rekrutiert, die mindestens einen Beighton-Score von 6/9 Punkten aufweisen, wobei die Hyperextension des rechten Knie zwingend war. Das war erforderlich, weil sich das Training auf die untere Extremität bezog und die Messungen während der Studie am rechten Bein durchgeführt wurden. Weiter mussten die Teilnehmerinnen einen Body-Mass-Index zwischen 18–30 kg/m² haben und die deutschen Fragebogen beantworten können.

Ausgeschlossen wurden Frauen, die in den letzten 2 Jahren an der unteren Extremität oder der Lendenwirbelsäule operiert worden waren, da das den aktuellen Zustand und die Fähigkeit zur Durchführung des Krafttrainings beeinflussen könnte. Weiter wurden Frauen mit akuten Schmerzen im Rücken oder in den unteren Extremitäten ausgeschlossen. Frauen, die regelmäßig mehr als 4 Stunden Sport pro Woche ausüben, durften nicht teilnehmen, um eine gewisse Homogenität der Gruppen in Bezug auf Muskelkraft und Trainingserfahrung zu gewährleisten. Schwangere Frauen und solche, deren Entbindung weniger als ein Jahr zurücklag, wurden ausgeschlossen, weil mögliche Veränderungen im Hormonstatus die Wirkung des Krafttrainings beeinflussen können. Schließlich wurden Frauen mit bekannten erblichen Erkrankungen des Bindegewebes, hauptsächlich Marfan-Syndrom und Ehlers-Danlos-Syndrom, mit Ausnahme des hypermobilen Typs, und Osteogenesis imperfecta, ausgeschlossen. Zu beachten ist, dass die Kriterien für diese Studie im Jahr 2012 definiert wurden und somit nicht auf der Nosologie 2017 für EDS und HSD basieren [7, 9].

Rekrutierung und Einschluss

Für die Studie wurden freiwillige Probandinnen mithilfe einer bestehenden Datenbank, über das Personal des Universitätsspitals Bern und über Studierende der Berner Fachhochschule rekrutiert. Der Rekrutierungszeitraum lag zwischen August 2013 und November 2015, die Rekrutierung sowie das Training und die Untersuchungen fanden am Universitätsspital Bern, Schweiz, statt. Nach dem Einverständnis wurden die Ein- und Ausschlusskriterien von einer Physiotherapeutin (CM) mit mehr als 12 Jahren

klinischer Erfahrung geprüft. Der Beighton-Score wurde standarisert erfasst, dazu die Beweglichkeit des rechten Knies, das Körpergewicht, die Körpergröße, die Armspanne sowie die Arm- und Beinlänge auf beiden Seiten gemessen. Schließlich erfolgte die anamnestische Überprüfung der Brighton-Kriterien [8] durch ein halbstrukturiertes Interview durch dieselbe Physiotherapeutin. Basierend darauf wurden die Probandinnen in 2 Subgruppen eingeteilt: eine Gruppe mit erfüllten Brighton-Kriterien und folglich JHS sowie eine Gruppe, die nur die Kriterien für GJH erfüllte.

Intervention

Das durchgeführte Krafttraining an Geräten war mehrheitlich selbstgesteuert und dauerte 12 Wochen. Ziel des Trainings war eine Muskelhypertrophie, der Schwerpunkt lag auf der unteren Extremität und dem unteren Rumpf. Pro Woche wurden 2 Trainings von ca. 50 Minuten durchgeführt, was ein Total von 24 geplanten Trainings ergibt. Für das Training wurden Geräte von Technogym (Technogym SpA, Cesena, Italien) verwendet. Das Programm umfasste folgende Übungen: Beinpresse, Knieextension und Knieflexion in offener Kette, Hüftabduktion, Fersenheben auf der Beinpresse, Rückenstreckung und Rumpfflexion. Vor dem Training fand ein 10-minütiges Aufwärmen auf dem Velo oder Crosstrainer statt.

Das Trainingsprogramm wurde auf Basis der Empfehlungen des American College of Sports Medicine [33] entwickelt. Alle Details zum Trainingsprogramm finden sich im **Zusatzmaterial**. Generell wurde das Trainingsgewicht auf 80 % des Maximums bei einer Wiederholung (1RM) festgelegt, es wurden 3 Serien mit 12 Wiederholungen pro Seite durchgeführt. 4 erfahrene Physiotherapeutinnen mit Weiterbildung in Sport- und Trainingstherapie instruierten die Probandinnen für das Trainingsprogramm. Zunächst wurden in einer einstündigen Sitzung die Übungen eingeführt und die Prinzipien zur Belastung und Anpassung erläutert. In der 3. und 6. Woche fand je eine halbstündige Sitzung zur Kontrolle der Übungen und Anpassung des Trainingsgewichts statt. Alle übrigen Trainingseinheiten wurden individuell durchgeführt und nicht betreut. Eine Physiotherapeutin im Trainingszentrum war jedoch anwesend für Fragen und zur Unterstützung. Die Teilnehmerinnen wurden ermutigt, die Gewichte schrittweise selbst zu erhöhen, wenn mehr als 12 Wiederholungen möglich waren. Beim Auftreten von Schmerzen oder anderen Beschwerden konnten sich die Frauen jederzeit an die anwesende Physiotherapeutin wenden. Während der Instruktionssitzungen wurden mögliche Anpassungen bei Schmerzen oder muskulären Problemen besprochen und vorgeschlagen, z. B. eine vorübergehende Reduktion des Widerstands, eine Erhöhung der Pause zwischen den Serien oder eine Reduktion der Serien.

Erfassung von Adhärenz, Belastung und Beschwerden

Ein Ziel war, die Durchführbarkeit eines Krafttrainings für Frauen mit GJH zu prüfen. Bezüglich der Adhärenz wurde daher erfasst, wie viele Trainings von jeder Person absolviert wurden. Zur Erfassung der Belastung durch das Training dienten primär das verwendete Gewicht und die Anzahl der Wiederholungen pro Übung. Die Teilnehmerinnen hielten diese Angaben für alle Trainingseinheiten fest. Zur Analyse wurden die verwendeten Gewichte auf das jeweilige Körpergewicht bezogen. Zusätzlich wurde die Zunahme

des Trainingsgewichts von der 1. bis zur 6. Woche und von der 1. bis zur 12. Woche in Prozent berechnet.

Schließlich füllten die Teilnehmerinnen während der Trainingsperiode jeweils am Ende der Woche einen dafür entwickelten kurzen Fragebogen zu auftretenden Schmerzen und Beeinträchtigungen aus. Basierend auf früheren Studien [34, 35] und klinischer Erfahrung wurden Schmerzen während oder nach dem Training erfragt mit der Möglichkeit, die Schmerzlokalisation anzugeben. Weiter wurde erfragt, ob im Alltag Schmerzen aufgetreten waren und falls ja, wo und warum. Schließlich konnten auch Einschränkungen bei Aktivitäten im Alltag und der allgemeine Gesundheitszustand angegeben werden. Bei allen Fragen erfolgte die quantitative Einschätzung durch die Probandinnen auf einer 5-Punkte-Likert-Skala, zusätzlich konnten die Probandinnen als Freitext Anmerkungen zur Art, Lokalisation und vermuteten Ursache ihrer Beschwerden angeben. Die Fragebogen wurden auf Papier ausgefüllt und in einer Box im Trainingsraum deponiert. Zur Analyse wurde die Anzahl der Trainingswochen summiert und jeweils die Anzahl der Wochen ohne Beschwerden (= 1 auf der Skala), mit geringen Beschwerden (= 2 auf der Skala) und mit mäßigen bis starken Beschwerden (= 3–5 auf der Skala) erfasst.

Erfassung der Effekte des Trainings

Zur Bestimmung der Effekte des Krafttrainings wurden Messungen der Muskelkraft und des Muskelquerschnitts am rechten Oberschenkel durchgeführt. Für die Flexoren und Extensoren des Kniegelenks wurde die isometrische Maximalkraft und die Schnellkraft in sitzender Position auf einem Messtisch mittels Kraftsensor gemessen. Nach einem kurzen Aufwärmen und bis zu 3 Testmessungen wurden für jede Muskelgruppe 3 Messungen durchgeführt und der jeweils höchste Wert ausgewählt. Die Maximalkraft und die Schnellkraft als Anstieg der Kraftkurve von 20–80 % des Maximums wurden berechnet und die Werte auf das Körpergewicht normiert [21]. Mittels peripherer quantitativer Computertomographie (pQCT) wurden am Oberschenkel 20 cm oberhalb der Patellaspitze Querschnittsmessungen durchgeführt. Aus den Bildern wurde mittels der integrierten Analysesoftware nach Standardverfahren [36] der Gesamtquerschnitt des Oberschenkels und die Muskelquerschnittsfläche berechnet und auf das Körpergewicht normalisiert.

Alle Messungen wurden von einem Untersucher (GL) durchgeführt. Die 1. Testung fand vor der Trainingsperiode statt, die 2. Testung innerhalb von 3 Wochen nach dem Training.

Statistische Auswertung

Es werden primär deskriptive Statistiken für die klinisch relevanten Parameter dargestellt. Für die primäre Analyse wurden alle eingeschlossenen Probandinnen als eine Gruppe betrachtet. Ergänzend wurden für die 2 Subgruppen GJH (Probandinnen ohne erfüllte Brighton-Kriterien) und JHS (Probandinnen mit erfüllten Brighton-Kriterien) die Daten separat analysiert und verglichen. Aufgrund der geringen Anzahl an Probandinnen wurde für die Signifikanztestung der Unterschiede zwischen diesen Subgruppen der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test mit einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ verwendet. Die Anzahl der Wochen mit oder ohne Beschwerden wurde zwischen den Subgruppen mittels

► Tab. 1 Probandinnendaten als Mittelwert (Standardabweichung).

		Alle (n = 46)	GJH (n = 26)	JHS (n = 20)
Alter	Jahre	26,3 (4,3)	26,2 (4,1)	26,3 (4,8)
Größe	m	1,68 (0,06)	1,67 (0,06)	1,68 (0,05)
Gewicht	kg	61,9 (9,6)	61,6 (10,4)	62,3 (8,7)
Body-Mass-Index	kg/m ²	22,0 (2,8)	22,0 (2,9)	22,1 (2,7)
Beighton Score n/9 (%)	9/9 8/9 7/9 6/9	16 (34,8 %) 16 (34,8 %) 9 (19,6 %) 5 (10,9 %)	9 (34,6 %) 10 (38,5 %) 4 (15,4 %) 3 (11,5 %)	7 (35 %) 6 (30 %) 5 (25 %) 2 (10 %)

GJH = Generelle Hypermobilität; JHS = Hypermobilitätssyndrom

Chi²-Test auf Unterschiede getestet. Die Effekte des Trainings wurden als prozentuale Veränderung berechnet und inklusive 95 %-Konfidenzintervall dargestellt. Schließlich wurde die Anzahl der Probandinnen mit einer prozentualen Zunahme der Kraft von mehr als 10 % berechnet, was im unteren Bereich der erwartbaren Veränderung durch 12 Wochen Krafttraining liegt.

Ergebnisse

Für die Originalstudie wurden 51 Probandinnen ($26,5 \pm 4,5$ Jahre) randomisiert. Alle 27 Probandinnen der Trainingsgruppe führten das Training durch, von 24 Probandinnen der Kontrollgruppe trainierten 5 anschließend nicht. Gründe dafür waren dreimal Zeitmangel, einmal psychische Probleme und einmal eine generelle Skepsis gegenüber dem Training an Geräten. Folglich absolvierten 46 Probandinnen das Krafttraining, davon erfüllten 20 die Brighton-Kriterien und wurden als JHS klassifiziert. Die Basisdaten dieser Probandinnen sind in ► Tab. 1 zusammengestellt, die Testung mittels Mann-Whitney-U ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen denjenigen mit GJH und JHS.

Adhärenz

6 Frauen brachen das Training vorzeitig ab. Die Gründe dafür waren zweimal Zeitmangel, einmal Unzufriedenheit mit der Organisation des Trainings und zweimal wurde kein Grund angegeben. Eine Teilnehmerin musste das Training nach 11 Sitzungen wegen der Zunahme von vorbestehenden Rückenschmerzen abbrechen. Bei dieser Probandin wurde danach eine lumbale Diskushernie mit Ausstrahlungen diagnostiziert und operativ behandelt. Weder die behandelnden Ärzte noch ein unabhängiger Arzt konnten einen direkten Zusammenhang des Trainings mit der Diskushernie bestätigen. Von den 6 Teilnehmerinnen, die abgebrochen haben, hatten 5 JHS und eine GJH. Somit führten 40 Teilnehmerinnen das Training während 12 Wochen durch, davon hatten 25 GJH und 15 JHS. Davon absolvierten 10 Teilnehmerinnen alle 24 Trainings (25 %), 21 absolvierten 20–23 Trainings (52,5 %) und 9 weniger als 20 Trainings (22,5 %). Gründe für die fehlenden Trainings waren primär Ferien und Zeitmangel. Für die weitere Analyse wurden nur die Daten dieser 40 Probandinnen verwendet.

► Tab. 2 Trainingsgewicht auf der Beinpresse im Laufe des Trainings absolut [kg] und prozentual [%] zum Körpergewicht sowie prozentuale Steigerung des Trainingsgewichts [jeweils Mittelwert (95 %-Konfidenzintervall)].

	Alle (n = 40)	GJH (n = 25)	JHS (n = 15)
Woche 1 [kg]	27,3 (23,9–30,6)	28,0 (23,4–32,6)	26,0 (21,2–30,8)
Woche 6 [kg]	44,6 (40,5–48,8)	46,0 (40,4–51,6)	42,3 (36,3–48,4)
Woche 12 [kg]	52,2 (47,5–57,5)	54,8 (48,0–61,6)	48,7 (41,9–55,5)
Woche 1 [%]	44,3 (38,3–50,3)	45,9 (38,1–53,7)	41,7 (32,3–51,5)
Woche 6 [%]	73,1 (65,0–81,1)	76,2 (65,8–86,7)	67,9 (55,3–80,5)
Woche 12 [%]	85,7 (76,4–94,9)	90,5 (78,5–102,5)	77,7 (63,8–91,7)
Steigerung W1–W6 [%]	73,7 (58,1–89,4)	76,1 (53,1–99,2)	69,7 (52,8–86,5)
Steigerung W1–W12 [%]	106,9 (83,1–130,6)	113,8 (77,5–150,0)	95,3 (76,0–114,7)

GJH = Generelle Hypermobilität; JHS = Hypermobilitätssyndrom

Intensität

Das beim Training verwendete Gewicht der 40 Probandinnen mit mehreren Trainings auf der Beinpresse beidbeinig ist in ► Tab. 2 dargestellt, absolut in kg und prozentual zum Körpergewicht. Generell wurde mit tiefen Gewichten im Bereich von 15–30 kg gestartet, was einem Trainingsgewicht von durchschnittlich weniger als 50 % des Körpergewichts entspricht. Nach 6 Wochen lagen die verwendeten Gewichte im Bereich von 40–50 kg und damit zwischen 67 und 76 % des Körpergewichts. Am Ende des Trainings lag das mittlere Gewicht bei 52,5 kg und damit im Mittel immer noch deutlich unter 100 % des eigenen Körpergewichts. Die Steigerung bis zur 12. Woche belief sich auf etwas über 100 %, mit leicht höheren Werten für Probandinnen mit GJH und leicht niedrigeren für Personen mit JHS. Trotz der tendenziell leicht niedrigeren Werte der Probandinnen mit JHS gegenüber denen mit GJH zeigte die Testung mittels Mann-Whitney-U keine signifikanten Unterschiede. Die Werte für die weiteren Übungen sind nicht im Detail dargestellt, lagen jedoch im ähnlichen Rahmen.

Beschwerden

Von den 40 Probandinnen mit vollständigem Training füllten 5 die wöchentlichen Fragebogen zu ihren Beschwerden nicht oder nur einmal aus. Somit verblieben 35 auswertbare Reihen von Fragebögen, deren Auswertung in ► Tab. 3 dargestellt ist. Generell wurden in rund 34 % der Trainingswochen Beschwerden während des Trainings angegeben und in 29 % der Wochen nach dem Training, wobei meistens geringe Beschwerden angegeben wurden. Die Probandinnen mit JHS hatten signifikant häufiger Beschwerden während ($p > 0,001$) und nach ($p = 0,003$) dem Training, allerdings gaben 47 % keine Beschwerden und knapp 45 % nur geringe Beschwerden an, während 7,7 % angaben, mäßige oder erhebliche Beschwerden zu haben. Insgesamt 9 Probandinnen gaben an, mehr als fünfmal Beschwerden während des Trainings zu haben, hauptsächlich in den Knien und im Rücken. 8 davon gaben

► **Tab. 3** Anzahl der Trainingswochen mit keinen, geringen oder mäßig bis erheblichen Beschwerden oder Schmerzen während und nach dem Training (Prozent der Trainingswochen total).

	Alle (n = 403)	GJH (n = 249)	JHS (n = 154)
Keine während des Trainings	265 (65,8)	192 (77,1)	73 (47,4)
Geringe während des Trainings	111 (27,5)	42 (16,9)	69 (44,8)
Mäßige oder erhebliche während des Trainings	27 (6,7)	15 (6,0)	12 (7,8)
Keine nach dem Training	285 (70,7)	190 (76,3)	95 (61,7)
Geringe nach dem Training	93 (23,1)	44 (17,7)	49 (31,8)
Mäßige oder erhebliche nach dem Training	25 (6,2)	15 (6,0)	10 (6,5)

Anzahl auswertbarer Probandinnen = 35, GJH = 22, JHS = 13; GJH = Generelle Hypermobilität; JHS = Hypermobilitätssyndrom

► **Tab. 4** Prozentuale Veränderung der Kraft der Knieflexoren und -extensoren und der Querschnitte am Oberschenkel durch das Krafttraining [jeweils Mittelwert (95 %-Konfidenzintervall)].

	Alle (n = 40)	GJH (n = 25)	JHS (n = 15)
Maximalkraft Extensoren	4,2 (-1,4–9,7)	1,9 (-3,8–7,7)	7,9 (-3,3–19,1)
Schnellkraft Extensoren	5,7 (-4,9–16,3)	1,9 (-10,6–14,3)	13,2 (-6,7–33,0)
Maximalkraft Flexoren	6,2 (-3,2–15,6)	3,9 (-8,3–16,1)	10,7 (-4,0–25,3)
Schnellkraft Flexoren	-2,8 (-15,7–10,1)	-12,3 (-28,7–4,2)	14,1 (-4,0–32,2)
Querschnitt Gesamt	0,8 (0,1–1,6)	1,0 (-0,3–2,0)	0,6 (-0,6–1,7)
Querschnitt Muskel	2,0 (1,0–3,0)	2,5 (1,4–3,5)	1,2 (-0,9–3,2)

GJH = Generelle Hypermobilität; JHS = Hypermobilitätssyndrom

an, auch nach dem Training Beschwerden zu haben und 2 weitere Probandinnen gaben an, nur nach dem Training Beschwerden zu spüren, ebenfalls primär in den Knien und im Rücken.

Effekte

Die Effekte des Trainings auf die Muskelkraft und die Querschnitte am Oberschenkel sind in ► **Tab. 4** dargestellt. Die Effekte waren generell gering und mehrheitlich gehen die 95 %-Konfidenzintervalle für den mittleren Effekt über die Nulllinie, sodass keine signifikanten und klinisch relevanten Veränderungen festgestellt werden konnten. Die Querschnittsflächen am Oberschenkel in der Gesamtgruppe sowie bei den Frauen mit GJH zeigten eine positive Veränderung, jedoch nur im Bereich von 2–2,5 %.

Wegen der breiten Konfidenzintervalle wurde zusätzlich geprüft, wie viele Probandinnen eine Veränderung von mehr als 10 % erreichten. Für die Kraft der Extensoren war das bei 10 Teilnehmerinnen (25 %) der Fall, für die Flexoren waren es 17 (42,5 %) und bei der Muskelquerschnittsfläche am Oberschenkel 8 Teilnehmerinnen (20 %).

Diskussion

Die Studie untersuchte die Machbarkeit und den Effekt eines 12-wöchigen Krafttrainingsprogramms bei Frauen mit GJH und analysierte zusätzlich eine Subgruppe mit JHS. Generell war das Training für die Probandinnen gut machbar, es gab wenige, die es abbrachen oder dadurch geringe Beschwerden hatten. Die Effekte des Trainings in der Gesamtgruppe waren analog zu den Ergebnissen der randomisierten Studie [30] gering und entsprachen nicht den Erwartungen vor der Studie.

Die Machbarkeit des Krafttrainingsprogramms über 12 Wochen erwies sich hingegen als sehr gut. Nur 6 von 46 Teilnehmerinnen beendeten das Training vorzeitig und mehr als 75 % absolvierten es über 20 von 24 vorgesehenen Trainingseinheiten. 5 der 6 Teilnehmerinnen, die abgebrochen hatten, hatten dafür organi-

satorische Mängel oder fehlende Zeit angegeben. Nur eine Person musste das Programm aufgrund verstärkter Rückenschmerzen abbrechen, es konnte jedoch nicht geklärt werden, ob diese durch das Trainingsprogramm verursacht worden waren. Aufgrund des Trainings traten bei wenigen Frauen geringe Schmerzen auf, mehrheitlich betrafen diese Knie und Rücken. Die Schmerzen klangen jeweils nach kurzer Zeit wieder ab und keine Frau war dadurch im Alltag eingeschränkt. Einzelne Probandinnen gaben mäßige oder erhebliche Schmerzen an, die jedoch durch Anpassungen des Trainings bezüglich Intensität und Übungen reduziert werden konnten. Somit bewegen sich die Nebenwirkungen des Krafttrainings im Bereich der Erfahrungen gesunder Menschen beim Sport oder Training im Fitnesscenter, wodurch ebenfalls gelegentlich und für kurze Zeit Beschwerden ausgelöst werden können [37]. Insgesamt erwies sich das Trainingsprogramm als gut durchführbar und gut verträglich für die Probandinnen.

Im Gegensatz zur guten Durchführbarkeit des Trainings steht die Art und Weise, wie das Training umgesetzt wurde: Der hohen Adhärenz stehen geringe Belastungswerte gegenüber. Nur wenige Teilnehmerinnen konnten das Gewicht auf der beidbeinigen Beinpresse über das eigene Körpergewicht hinaus steigern. Hier zeigt sich ein Schwachpunkt des selbstgesteuerten Trainings. Trotz dreimaliger Instruktionen und dem Hinweis, das Trainingsgewicht zu erhöhen, wenn 12 Wiederholungen problemlos durchgeführt werden können, wurde diese Anweisung von den Probandinnen kaum umgesetzt. So erhöhten 18 Frauen das Trainingsgewicht auf der Beinpresse zwischen der 6. und 12. Woche nicht mehr. Auf Nachfrage wurde als Begründung mehrfach die Angst vor zunehmenden Schmerzen bei höheren Gewichten angegeben. Insofern hängen die geringen Werte der ausgelösten Beschwerden auch mit den niedrigen Gewichten während des Trainings zusammen. Eine enge Begleitung der Probandinnen mit dem Ziel, sie zu höherer Auslastung zu motivieren, wäre daher sinnvoll. Durch ein vollständig

überwachtes und individuell begleitetes Training wäre eine gezielte Steuerung des Trainings möglich.

Ein weiterer Schwachpunkt des Trainingsprogramms war die fehlende Individualisierung. Das Programm war standardisiert und beinhaltet neben dem Gerätetraining keine weiteren Elemente wie Gleichgewichtstraining oder Übungen für die motorische Kontrolle. Das standardisierte Training hat den Vorteil, dass mögliche Effekte klar zugeordnet werden können, der Nachteil ist, dass es kaum dem physiotherapeutischen Alltag entspricht, wo Patientinnen selten in ein selbstgesteuertes Krafttraining eingegliedert werden. In den meisten Fällen würde davor eine individuelle Vorbereitung stattfinden, was leider im Rahmen dieser Studie nicht möglich war.

Entgegen den Erwartungen zeigten sich durch das Krafttraining keine eindeutigen Veränderungen der Muskelkraft und der Querschnittsfläche, weder im randomisierten Vergleich der Trainings- und Kontrollgruppe [30] noch im hier vorgestellten Pre-post-Vergleich mit einer größeren Anzahl an Probandinnen. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu verschiedenen anderen Trainingsstudien, z. B. erzielten Patient*innen mit Kniearthrose, die ein Widerstandstraining für die Kniemuskulatur durchführten, Kraftverbesserungen von 15–34 % [38]. Für ein Krafttraining junger gesunder Frauen wurden nach einem 12-wöchigen Programm Kraftsteigerungen von 20–32 % [39] nachgewiesen. Solche Werte wurden in der vorgelegten Studie nicht annähernd erreicht, im Mittel zeigte sich kein signifikanter Effekt und bei der Analyse der einzelnen Personen erreichten nur etwa ein Viertel der Teilnehmerinnen Verbesserungen von mehr als 10 %.

Ein weiteres Problem betrifft die Messung der Kraft, welche isometrisch durchgeführt wurde, obwohl das Training dynamisch war. Dadurch könnte ein dynamischer Kraftzuwachs nicht auf die statische Messsituation übertragen worden sein. Weiter könnte das Trainingsvolumen mit 2 Trainingseinheiten pro Woche zu gering sein, um eine Verbesserung der Kraft zu erreichen. Schließlich zeigten die individuellen Veränderungen durch das Training eine große Variation, was auf die hohe Heterogenität der Studiengruppe zurückzuführen sein könnte. Die Gruppe umfasste Frauen mit wenig Beschwerden im Alltag sowie Frauen mit deutlichen Einschränkungen. Im Vergleich mit Trainingsstudien bei Personen mit Hypermobilität ist der geringe Effekt in dieser Studie ebenfalls auffällig. Mindestens 3 neuere Studien zeigen, dass ein Training bei diesen Personen einen Effekt haben kann: In einer englischen Studie [16] wurde die Kraftentwicklung beim Quadriceps über 16 Wochen bei Personen mit GJH, mit JHS und einer Kontrollgruppe verglichen. In allen 3 Gruppen war ein ähnlicher Kraftzuwachs im Bereich einer ungefähren Verdoppelung feststellbar, wobei diejenigen mit JHS ein deutlich tieferes Ausgangsniveau zeigten als die Kontrollgruppe und diejenigen mit GJH höhere Ausgangswerte aufwiesen [16]. Bemerkenswert ist, dass dieser Zuwachs durch ein Übungsprogramm erreicht wurde, das hauptsächlich Zuhause mit dem eigenen Körpergewicht durchgeführt wird, wobei die Anpassung und Anleitung alle 2 Wochen durch eine Physiotherapeutin erfolgte. In einer dänischen Machbarkeitsstudie [40] zur Schulterkräftigung zeigte sich, dass Teilnehmerinnen mit HSD (basierend auf dem Beighton-Score und einer Vorgesichte von Schulterschmerzen) ein 16-wöchiges Krafttrainingsprogramm durchführen konnten und etwa 30 % an Schulterkraft gewannen. In dieser Studie wurde das Training zweimal

wöchentlich unter Aufsicht eines Physiotherapeuten und einmal wöchentlich selbstgesteuert durchgeführt [40]. Schließlich untersuchte eine türkische Studie [41] den Effekt eines 8-wöchigen Programms zur Stabilisierung der Wirbelsäule, das dreimal wöchentlich in Gruppen unter Anleitung eines Physiotherapeuten durchgeführt wurde. Die Studie belegt Verbesserungen der Rumpfmuskelausdauer von ca. 50 %, allerdings weist die Studie einige methodische Einschränkungen auf, wie eine hohe Drop-out-Rate und eine fehlende Verblindung der Untersucher [41]. Zu beachten ist, dass alle diese Studien nach der vorliegenden Studie veröffentlicht wurden und somit die Ergebnisse nicht in die Planung der Studie einfließen konnten.

Zusammenfassend scheint der fehlende Effekt des Trainings in dieser Studie nicht an der Hypermobilität der Teilnehmenden zu liegen. Es scheint dafür mehrere wesentliche Faktoren zu geben: a) die zu geringe Belastung während des Trainings, b) die Unzulänglichkeiten der verwendeten Assessments, c) die fehlende intensive Begleitung während des Trainings und d) die Heterogenität der eingeschlossenen Versuchspersonen.

Limitationen

Die vorliegende Studie weist mehrere Limitationen auf, die möglicherweise zu den unklaren Ergebnissen beigetragen haben. Zunächst handelt es sich um eine Pre-post-Studie ohne Kontrollgruppe, sodass kein Vergleich möglich war. Allerdings zeigte der entsprechende Vergleich im RCT ebenfalls keine klaren Ergebnisse. Weiter wurde die Studie von Anfang an als Machbarkeits- und Effektivitätsstudie geplant, bei abschließender Betrachtung wäre es besser gewesen, 2 separate Studien zu planen. Schließlich wies der selbst entwickelte Fragebogen zu den Beschwerden Schwachpunkte bezüglich der Auswertbarkeit auf und es wäre sinnvoll gewesen, zusätzlich Befragungen der Probandinnen zur Machbarkeit und Verträglichkeit in das Projekt zu integrieren.

Schlussfolgerungen

Das Krafttraining war für die meisten Teilnehmerinnen machbar und gut verträglich. Das mehrheitlich selbstgesteuerte Training war zu wenig intensiv, um eindeutige Auswirkungen auf Kraft oder Muskelmasse zu erreichen, obwohl einzelne Teilnehmerinnen durchaus davon profitierten.

Für die weitere Forschung sollte unbedingt eine möglichst klare Definition der Studiengruppen erfolgen. Zum einen könnten mehrheitlich asymptomatische Personen mit GJH untersucht werden, um die präventiven Möglichkeiten von Krafttraining klarer zu erfassen. Zum anderen sollten für klinische Studien klar definierte Proband*innen mit HSD und/oder hypermobiler EDS untersucht werden, wobei ausreichend große Gruppen und eine gute Erfassung der Beschwerden und Symptome wesentlich sind. Bezüglich der Interventionen scheinen enger begleitete und individuelle Programme mehr Erfolg zu versprechen. Dabei könnten auch propriozeptive Übungen oder funktionelles Training mit Fokus auf der motorischen Kontrolle integriert werden. Nicht zuletzt gilt es, sinnvolle Assessments zu definieren, um nicht nur Kraft und Muskelmasse zu erfassen, sondern auch Schmerzen, weitere Beschwerden und Einschränkungen im Alltag.

- Zustimmung zur Veröffentlichung:** Nicht zutreffend.
- Verfügbarkeit von Daten und Materialien:** Die in dieser Studie generierten und/oder analysierten Daten sind auf begründete Anfrage beim korrespondierenden Autor erhältlich.
- Finanzielle Unterstützung:** Diese Studie wurde finanziell nicht unterstützt.
- Beiträge von Autor*innen:** Konzeption der Arbeit: GL, CM, BHB, MV, DA. Erhebung, Analyse und Interpretation der Daten: GL, BHB, CM, DA. Entwurf des Manuskripts: GL, MV. Kritische Überarbeitung des Manuskripts hinsichtlich wichtiger geistiger Inhalte: GL, CM, MV, DA, JPB. Alle Autor*innen erklären, dass sie für alle Aspekte der Arbeit verantwortlich sind und gewährleisten, dass Fragen im Zusammenhang mit der Richtigkeit oder Integrität eines jeden Teils der Arbeit angemessen untersucht und gelöst wurden.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Juul-Kristensen B, Schmedling K, Rombaut L et al. Measurement properties of clinical assessment methods for classifying generalized joint hypermobility-A systematic review. *Am J Med Genet Part C Semin Med Genet* 2017; 175: 116–147. doi:10.1002/ajmg.c.31540
- [2] Russek LN, Errico DM. Prevalence, injury rate and, symptom frequency in generalized joint laxity and joint hypermobility syndrome in a “healthy” college population. *Clin Rheumatol* 2016; 35: 1029–1039. doi:10.1007/s10067-015-2951-9
- [3] Singh H, McKay M, Baldwin J et al. Beighton scores and cut-offs across the lifespan: cross-sectional study of an Australian population. *Rheumatology* 2017; 56: 1857–1864. doi:10.1093/rheumatology/kex043
- [4] Scheper MC, de Vries J, Beelen A et al. Generalized Joint Hypermobility, Muscle Strength and Physical Function in Healthy Adolescents and Young Adults. *Curr Rheumatol Rev* 2015; 10: 117–125. doi:10.2174/157339711666150120112925
- [5] Foley EC, Bird HA. Hypermobility in dance: Asset, not liability. *Clin Rheumatol* 2013; 32: 455–461. doi:10.1007/s10067-013-2191-9
- [6] Baeza-Velasco C, Gély-Nargeot MC, Pailhez G et al. Joint hypermobility and sport: A review of advantages and disadvantages. *Curr Sports Med Rep* 2013; 12: 291–295. doi:10.1249/JSR.0b013e3182a4b933
- [7] Castori M, Tinkle B, Levy H et al. A Framework for the Classification of Joint Hypermobility and Related Conditions. *Am J Med Genet Part C Semin Med Genet* 2017; 175: 148–157. doi:10.1002/ajmg.c.31539
- [8] Grahame R. The Revised (Brighton 1998) Criteria for the Diagnosis of Benign Joint Hypermobility Syndrome (BJHS). *J Rheumatol* 2000; 27: 1777–1779
- [9] Malfait F, Francomano C, Byers P et al. The 2017 international classification of the Ehlers-Danlos syndromes. *Am J Med Genet Part C Semin Med Genet* 2017; 175: 8–26. doi:10.1002/ajmg.c.31552
- [10] Scheper MC, Juul-Kristensen B, Rombaut L et al. Disability in adolescents and adults diagnosed with hypermobility related disorders: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2016; 97: 2174–2187. doi:10.1016/j.apmr.2016.02.015
- [11] Pacey V, Nicholson LL, Adams RD et al. Generalized joint hypermobility and risk of lower limb joint injury during sport: a systematic review with meta-analysis. *Am J Sports Med* 2010; 38: 1487–1497. doi:10.1177/0363546510364838
- [12] Tingle A, Bennett O, Wallis A et al. The links between Generalized Joint Laxity and the incidence, prevalence and severity of limb injuries related to physical exercise: a systematic literature review. *Phys Ther Rev* 2018; 23: 259–272. doi:10.1080/10833196.2018.1481626
- [13] Junge T, Henriksen P, Hansen S et al. Generalised joint hypermobility and knee joint hypermobility: prevalence, knee joint symptoms and health-related quality of life in a Danish adult population. *Int J Rheum Dis* 2019; 22: 288–296. doi:10.1111/1756-185X.13205
- [14] Juul-Kristensen B, Østengaard L, Hansen S et al. Generalised joint hypermobility and shoulder joint hypermobility, – Risk of upper body musculoskeletal symptoms and reduced quality of life in the general population. *BMC Musculoskelet Disord* 2017; 18: 1–9. doi:10.1186/s12891-017-1595-0
- [15] Kulesa-Mrowiecka M, Piech J, Gazdik TS. The Effectiveness of Physical Therapy in Patients with Generalized Joint Hypermobility and Concurrent Temporomandibular Disorders — A Cross-Sectional Study. *J Clin Med* 2021; 10: 1–10
- [16] To M, Alexander CM. Are People with Joint Hypermobility Syndrome Slow to Strengthen? *Arch Phys Med Rehabil* 2019; 100: 1243–1250. doi:10.1016/j.apmr.2018.11.021
- [17] Palmer S, Davey I, Oliver L et al. The effectiveness of conservative interventions for the management of syndromic hypermobility: a systematic literature review. *Clin Rheumatol* 2021; 40: 1119–1129. doi:10.1007/s10067-020-05284-0
- [18] Simmonds JV. Masterclass: Hypermobility and hypermobility related disorders. *Musculoskelet Sci Pract* 2022; 57: 102465. doi:10.1016/j.jmsksp.2021.102465
- [19] Schmid S, Luder G, Mueller Mebes C et al. Neuromechanical gait adaptations in women with joint hypermobility – An exploratory study. *Clin Biomech* 2013; 28: 1020–1025. doi:10.1016/j.clinbiomech.2013.09.010
- [20] Luder G, Schmid S, Stettler M et al. Stair climbing – An insight and comparison between women with and without joint hypermobility: A descriptive study. *J Electromogr Kinesiol* 2015; 25: 161–167. doi:10.1016/j.jelekin.2014.07.005
- [21] Mueller Mebes C, Luder G, Schmid S et al. Aspects of Isometric Contractions and Static Balance in Women with Symptomatic and Asymptomatic Joint Hypermobility. *Int J Phys Med Rehabil* 2016; 4: 347. doi:10.4172/2329-9096.1000347
- [22] Stettler M, Luder G, Schmid S et al. Passive anterior tibial translation in women with and without joint hypermobility: an exploratory study. *Int J Rheum Dis* 2018; 21: 1756–1762. doi:10.1111/1756-185X.12917
- [23] Taylor NF, Dodd KJ, Damiano DL. Progressive resistance exercise in physical therapy: A summary of systematic reviews. *Phys Ther* 2005; 85: 1208–1223. doi:10.1093/ptj/85.11.1208
- [24] Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR et al. Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise [ACSM Position Stand]. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1334–1359. doi:10.1249/MSS.0b013e318213febf
- [25] Dias RMR, Cyrino ES, Salvador EP et al. Impact of an eight-week weight training program on the muscular strength of men and women. *Rev Bras Med do Esporte* 2005; 11: 224–228. doi:10.1590/s1517-86922005000400004
- [26] Liu C, Latham N. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; 244–246. doi:10.1002/14651858.CD002759.pub2
- [27] Wewege MA, Booth J, Parmenter BJ. Aerobic vs. resistance exercise for chronic non-specific low back pain: A systematic review and meta-analysis. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2018; 31: 889–899. doi:10.3233/BMR-170920

- [28] Jansen MJ, Viechtbauer W, Lenssen AF et al. Strength training alone, exercise therapy alone, and exercise therapy with passive manual mobilisation each reduce pain and disability in people with knee osteoarthritis: A systematic review. *J Physiother* 2011; 57: 11–20. doi:10.1016/S1836-9553(11)70002-9
- [29] Busch AJ, Webber SC, Richards RS et al. Resistance exercise training for fibromyalgia. *Cochrane Database Syst Rev* 2014. doi:10.1002/14651858.CD010884
- [30] Luder G, Aeberli D, Mueller Mebes C et al. Effect of resistance training on muscle properties and function in women with generalized joint hypermobility: a single-blind pragmatic randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2021; 13. doi:10.1186/s13102-021-00238-8
- [31] National Institute of Health, Hrsg. Study Quality Assessment Tools 2021. Im Internet (Stand: 19.05.2022): www.ncbi.nlm.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools
- [32] Hoffmann TC, Glasziou PP, Boutron I et al. Better reporting of interventions: Template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. *BMJ* 2014; 348: g1687. doi:10.1136/bmj.g1687
- [33] Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK et al. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults [ACSM Position Stand]. *Med Sci Sport Exerc* 2009; 41: 687–708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670
- [34] Mueller Mebes C, Luder G, Schmid S et al. Symptoms in Daily Life and Activity Level of Women with and without Hypermobility. *Rheumatol Curr Res* 2018; 8: 1–7. doi:10.4172/2161-1149.1000241
- [35] Mebes C, Amstutz A, Luder G et al. Isometric rate of force development, maximum voluntary contraction, and balance in women with and without joint hypermobility. *Arthritis Care Res* 2008; 59: 1665–1669. doi:10.1002/art.24196
- [36] Aeberli D, Eser P, Bonel H et al. Reduced trabecular bone mineral density and cortical thickness accompanied by increased outer bone circumference in metacarpal bone of rheumatoid arthritis patients: A cross-sectional study. *Arthritis Res Ther* 2010; 12: R119. doi:10.1186/ar3056
- [37] Dannecker EA, Koltyn KF. Pain during and within hours after exercise in healthy adults. *Sport Med* 2014; 44: 921–942. doi:10.1007/s40279-014-0172-z
- [38] Jan M, Lin J, Liau J et al. Investigation of Clinical Effects of High- and Low-Resistance Training for Patients with Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther* 2008; 88: 427–436. doi:10.2522/ptj.20060300
- [39] Botton CE, Radaelli R, Wilhelm EN et al. Neuromuscular Adaptations to Unilateral vs. Bilateral Strength Training in Women. *J Strength Cond Res* 2016; 30: 1924–1932
- [40] Liaghat B, Skou ST, Jørgensen U et al. Heavy shoulder strengthening exercise in people with hypermobility spectrum disorder (HSD) and long-lasting shoulder symptoms: A feasibility study. *Pilot Feasibility Stud* 2020; 6: 1–13. doi:10.1186/s40814-020-00632-y
- [41] Toprak Celenay S, Ozer Kaya D. Effects of spinal stabilization exercises in women with benign joint hypermobility syndrome: a randomized controlled trial. *Rheumatol Int* 2017; 37: 1461–1468. doi:10.1007/s00296-017-3713-6