

**Zusammenfassung**

Wir untersuchten die Auswirkungen eines 9monatigen körperlichen Trainings auf ossäre Risikofaktoren einer Osteoporose bei Frauen in unterschiedlichen Lebensabschnitten (prämenopausal vs. früh- und spät-postmenopausal). 46 Frauen ( $55 \pm 6$  J.) ohne Medikation mit Wirkung auf den Knochenstoffwechsel nahmen an der intensiven und häufigen ( $>2 \cdot 4$ mal/Woche) Trainingsmaßnahme teil, 18 Personen ( $56 \pm 8$  J.) dienten als Kontrollgruppe.

Nach Trichotomisierung des Gesamtkollektivs zeigte die prämenopausale Gruppe ( $n=14$ ;  $44 \pm 5$  J.) an der LWS-Region eine signifikante Verbesserung (+1.9 %) der Knochendichte (DXA). Für die Schenkelhalsregion, das Gesamtkalzium und die Breite der Lendenwirbelkörper 2-4 konnten keine wesentlichen Veränderungen erfaßt werden. Die früh-postmenopausale Frauengruppe ( $n=15$ ;  $54 \pm 5$  J.) zeigte eine sehr signifikante Verbesserung (+2.5 %) an der LWS, sowie deutliche (n.s.) Verbesserungen des Gesamtkalziums (+1.4 %), der Knochendichte am Ward'schen Dreieck (+1.3 %) und Trochanter (+1.1 %). Keine wesentlichen Veränderungen zeigten sich für die Knochendichte am Schenkelhals und für die Breite der LWK 2-4. Die Gruppe der spät-postmenopausalen Frauen ( $n=17$ ;  $64 \pm 6$  J.) zeigte eine signifikante Verbesserung der Knochendichte an der LWS (+1.8 %) und eine tendenzielle Zunahme der Knochendichte am Ward'schen Dreieck (+1.3 %) und Trochanter (+0.8 %) sowie der Wirbelkörperbreite (+0.9 %). Keine Veränderungen konnten für das Gesamtkalzium nachgewiesen werden. Ein Zwischengruppenvergleich der drei Gruppen auf der Basis der prozentualen Veränderung zeigte trotz tendenzieller Unterschiede für keinen Knochenparameter signifikante Unterschiede. Ein Vergleich der am wenigsten deutlich reagierenden prämenopausalen Trainingsgruppe mit der nicht-trainierenden Kontrollgruppe (ohne entsprechende Aufteilung) zeigt für alle erfaßten Knochenparameter deutliche, z.T. signifikante (BMD-LWS) Zwischengruppenunterschiede.

Zusammenfassend meinen wir, daß ein individualisiertes, überschwelliges und mit adäquater Trainingshäufigkeit durchgeführtes körperliches Training bei Frauen, weitgehend unabhängig vom Lebens-

# Einfluß unterschiedlicher Lebensabschnitte auf die belastungsabhängige Reaktion ossärer Risikofaktoren einer Osteoporose

W. Kemmler

## The influence of physical training during different periods of life on bone metabolism

Institut für medizinische Physik, Universität Erlangen-Nürnberg

abschnitt, positive Effekte auf Parameter des Knochens aufweist.

**Schlüsselwörter:** Osteoporose, BMD, körperliche Belastung, Menopause

**Summary**

We investigated the effect of a 9-month physical training programme on BMD, total body calcium and mean lumbar vertebral bone width in women in different periods of their life. 46 women ( $55 \pm 6$  y) without medication affecting bone metabolism took part at our intensive and high frequency ( $> 2\text{-}4$  times/week) training programme, 18 Persons ( $56 \pm 8$  y) served as non-training control.

For the analysis all trained women were divided into three subgroups of women in different periods of their life (premenopausal,  $n=14$ ; early postmenopausal:  $< 8$  years postmenopausal,  $n=15$ ; late postmenopausal:  $> 8$  years postmenopausal,  $n=17$ ). BMD-, total body calcium- and mean lumbar vertebral bone width (DXA) increases (%) were averaged for each group. For the premenopausal subgroup we could demonstrate a significant increase (+1.9 %) at the lumbar spine and smaller (n.s.) increases at the femoral neck region, the total-body-calcium and the mean lumbar vertebral bone width. A slight decrease occurred for wards triaangle BMD. The early postmenopausal women showed a significant increase

for the lumbar spine BMD (+2.5 %). Increases at the femoral neck region, total body calcium and for the mean lumbar vertebral bone width were smaller and not significant. For the subgroup in the late postmenopausal period we could demonstrate significant increases in BMD of the lumbar spine (+1.8 %). Slight increases (n.s.) we could show for the neck region, at ward's triaangle, for the trochanteric region and the mean lumbar vertebral bone width. No alteration could be detected for the total body calcium. Comparing the results of the three subgroups in different life-periods no significant differences could be demonstrated for any parameter. Comparing to the results of the non-training control group, there were remarkable and statistically significant (BMD-LS) differences.

We conclude that an intensive and high-frequency training programme under regard of recent development of physical sciences can improve bone density, total body calcium and mean lumbar vertebral bone width in adolescent women (with some limitations) independent of their period of life.

**Key words:** osteoporosis, BMD, training, menopause

**Einleitung**

Daß ein ausreichend häufiges und intensives Training mit geeigneten Belastungsinhalten zu einer positiven Veränderung

von Knochenparametern, wie z.B. der Knochendichte führt, kann angesichts einer großen Anzahl erfolgreicher Interven-

bei sich beide Trainingsgruppen signifikant positiv von den entsprechenden Kontrollgruppen unterschieden.

Tab. 1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Häufigkeiten ausgewählter Parameter innerhalb der Gruppen unterschiedlicher Lebensabschnitte und Berechnung der Zwischengruppenunterschiede. Zum Vergleich MW  $\pm$  SD der nicht-trainierenden Kontrollgruppe (KG, rechts).

Variable (basal)	prämenop. (n=14)	früh-post- (n=15)	spät-post- (n=17)	Unterschiede	Kontrollgruppe (n=18)
Lebensalter (Jahre)	44.3 $\pm$ 5.1	54.1 $\pm$ 5.2	64.9 $\pm$ 6.4	***	56.4 $\pm$ 8.4
Menarchealter (Jahre)	13.6 $\pm$ 1.8	13.5 $\pm$ 1.5	13.5 $\pm$ 1.3	n.s.	13.6 $\pm$ 1.4
körperliche Belastung <sup>1</sup>	5.1 $\pm$ 1.6	4.7 $\pm$ 1.4	5.0 $\pm$ 1.1	n.s.	4.9 $\pm$ 1.6
genetische Disposition	36%	31%	35%	n.s.	33%
Kalzium (g/d) <sup>2</sup> Test 1	1.39 $\pm$ 0.44	1.29 $\pm$ 0.41	1.25 $\pm$ 0.41	n.s.	1.30 $\pm$ 0.33
Test 2	1.25 $\pm$ 0.32	1.26 $\pm$ 0.43	1.38 $\pm$ 0.54	n.s.	1.26 $\pm$ 0.31
Vitamin D ( $\mu$ g/d) <sup>2</sup> Test 1	4.12 $\pm$ 3.05	3.74 $\pm$ 2.80	4.21 $\pm$ 3.01	n.s.	3.53 $\pm$ 1.89
Test 2	4.36 $\pm$ 2.32	3.39 $\pm$ 2.12	3.85 $\pm$ 2.83	n.s.	3.60 $\pm$ 1.33

<sup>1</sup> durchschnittliche körperliche Belastung der vergangenen zwei Dekaden in Beruf und Freizeit, erfaßt über Fragebogen. Rating-Skala von 1 (sehr niedrig) bis 7 (sehr hoch)

<sup>2</sup> Erfassung mittels 5tägigem Ernährungsprotokoll

tionsstudien (Übersicht in 5, 10, 14, 21, 50), wohl als gesichert angesehen werden. Angesichts der bezüglich Alter, Hormonstatus, Osteoporosegrad und medikamentöser Versorgung überwiegend heterogenen Stichproben dieser Untersuchungen, fragt es sich allerdings, ob Personen mit unterschiedlichen individuellen Ausgangsbedingungen in ähnlichem Maße von einem optimierten körperlichen Training profitieren können.

Besonders interessant erscheint uns in diesem Zusammenhang die Fragestellung, welchen Einfluß ein optimiertes körperliches Training auf Knochenparameter bei Frauen in unterschiedlichen Lebensphasen respektive unterschiedlicher hormoneller Situation ausübt. So ist es fraglich, ob Frauen in der früh-postmenopausalen Lebensphase, also einem Lebensabschnitt mit vergleichsweise sehr deutlichen Knochenverlusten (30, 38, 39) von einem körperlichen Training in ähnlichem Maße profitieren können, wie Frauen in Lebensabschnitten mit weniger beschleunigtem Knochenumbau.

Nur wenige Autoren (4; 16; 46) haben diesen Einfluß der Lebensphase auf die Reaktion von Knochenparametern auf körperliche Belastung bisher untersucht. Smith *et al.* (46) zeigten für eine prämenopausale Trainingsgruppe verglichen mit einer postmenopausalen Trainingsgruppe tendenziell bessere Verläufe, wo-

Goto *et al.* (16) erfaßten die BMD-Veränderungen (LWS, Schenkelhals) von Volleyballspielerinnen und Läuferinnen in unterschiedlichen Lebensperioden über ein Jahr. Die Autoren wiesen für Frauen in der perimenopausalen Lebensphase deutliche Knochenverluste (LWS: -2,6 %, Schenkelhals: -1,1 %) nach. Frauen in der Postmenopause zeigten lediglich moderate Verluste (LWS: -0,6 %, Schenkelhals -0,3 %), während es bei Frauen in der Prämenopause teilweise zu positiven Auslenkungen der Knochendichte (LWS: -0,2 %, Schenkelhals +1,8 %) kam.

## Material und Methoden

46 Frauen (55  $\pm$  6 J.) nahmen nach Anwendung der Ausschlusskriterien

- Ruheshypertonie, Herzinsuffizienz, Belastungsabbruch bei < 100 W (Fahrradergometer)
- akute entzündliche Erkrankungen, Bandscheibenproblematik, frische Frakturen
- medikamentöse Osteoporosetherapie bzw. andere medikamentöse Versorgung mit möglicher anaboler oder kataboler Wirkung am Knochen innerhalb der letzten 18 Monate vor Untersuchungsbeginn

an unserer Untersuchung zur Beeinflussung ossärer und extraossärer Risikofaktoren durch ein körperliches Training teil (21).

Um den kombinierten Einfluß von Lebensalter und hormoneller Situation zu erfassen, erfolgte eine Einteilung der Teilnehmerinnen nach deren Lebensphase. In die Gruppe der prämenopausalen Frauen (n=14, 44  $\pm$  5 J.) gingen diejenigen Frauen ein, bei denen bis zur Kontrolluntersuchung regelmäßige Blutungen vorkamen. Ein Menopausenalter von  $\leq$  8 Jahren (vgl. hierzu 2, 11, 32) führte zu einer Einordnung in die Gruppe der früh-postmenopausalen Frauen (n=15, 54  $\pm$  5 J.). Die Gruppe der spät-postmenopausalen Frauen (n=17, 65  $\pm$  6 J.) bildeten Frauen mit einem Menopausenalter von > 8 Jahren. Da die Daten der nicht-trainierenden Kontrollgruppe ohne medikamentöse Osteoporosetherapie, -prophylaxe (n=18, prämenopausal: n=4, früh-postmenopausal: n=7, spät-postmenopausal: n=7) wegen des geringen Stichprobenumfanges keine sinnvolle statistische Berechnung zulassen, fließen die Ergebnisse dieser Gruppe nur beschreibend und nicht in die statistische Auswertung ein.

Tabelle 1 zeigt die basalen anthropometrischen und „osteoporoserelevanten“ Parameter unserer Gruppen, Tabelle 2 die Ausgangsdaten der von uns erfaßten Knochenparameter. Während des Interventionszeitraumes kam es zu keinerlei Veränderung des Arbeits- und Freizeitverhaltens, der Ernährung (Erfassung anhand eines 5tägigen Ernährungsprotokolls, s. Tab. 1) und der medikamentösen Behandlung, so daß wir die erfaßten Veränderungen direkt auf die Interventionsmaßnahme beziehen können.

## Interventionsmaßnahme

Unter Berücksichtigung des Beschwerdekompleses, der Ausdauerleistungsfähigkeit, der isometrischen Maximalkraft der Rumpfmuskulatur sowie der Beweglichkeit und Sportvorerfahrung der Teilnehmerinnen wurden möglichst homogene Trainingsgruppen gebildet. Die so gegliederten Trainingsgruppen führten nun ein zweimaliges gemeinsames Training/Woche über 90 min und ein zweimaliges Heimprogramm/Woche von ca. 35 min Dauer durch.

Erster Inhalt des gemeinsamen Trainings waren ein progressives Ausdauertraining mit vergleichsweise hohen Bodenreaktionskräften (Laufen/kleine Spiele/Sprungläufe) nach dem Darmstädter

Modell von 20-25 min Dauer bei 70-80 % der  $Hf_{max}$ . Während des zweiten Trainingsabschnittes wurden gezielt koordinativer Fähigkeiten ausgebildet, die wir in besonders engem Zusammenhang mit Sturz und Bruch sehen. Die dritte Trainingssequenz teilte sich in ein geräteunabhängiges progressives Training der statischen und dynamischen Kraft sowie der Beweglichkeit auf. Innerhalb der statischen Übungsform wurde mit einer ca. 8 sec andauernden, maximalen Belastungsintensität gearbeitet. Insgesamt wurden in diesem Trainingsabschnitt 12-15 Übungen mit 2-4 Sätze in jeweils unterschiedlichen Gelenkwinkeln durchgeführt. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die Bauch-, Rücken- und Hüftbeugemusculatur. Beim dynamischen Muskeltraining wurden mittels Thera<sup>®</sup>-Bändern je Übung 2-3 Sätze mit 20-25 Wiederholungen durchgeführt. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die Armbeuge- und -streckmuskulatur, die obere Rückenmuskulatur, die Muskulatur des Schultergürtels, sowie die Beinextensions- und -flexionsmuskulatur. Insbesondere für die zur Verkürzung neigenden Muskelgruppen führten wir in den Pausen des Krafttrainings ein Training der Beweglichkeit nach dem Dauerdehnungsprinzip (1-2 mal ca. 30-40 sec.) durch. Die abschließende Sequenz bildeten Übungen des autogenen Trainings.

Das Heimtrainingsprogramm entsprach der oben beschriebenen Kraft- und Beweglichkeitssequenz. Allerdings erfolgten aus Compliancegründen im gemeinsamen Übungsprogramm andere Übungen als im Heimtrainingsprogramm. Die Übungssammlung des Heimtrainings wechselte zudem alle 6 Wochen.

## Meßinstrumente

**Osteodensitometrie:** Die Erfassung der Knochendichte (BMD) und Wirbelkörperbreite an der LWS (LWK 2-4 a.p.), am Schenkelhals (jeweils Medium-3000 Modus) sowie die Gesamtkörpermessung (Fast-150 Modus) wurde mit einem DPX-L Gerät der Firma Lunar durchgeführt. Der Langzeit-Variationskoeffizient für die Knochendichtemessung an der LWS betrug < 0.5 %.

**Statistische Auswertung:** Zur Berechnung von Mittelwertsunterschieden zwi-

schen Eingangsmessung und Kontrollmessung wurde, nach Überprüfung der Zulässigkeit dieses Verfahrens, der T-Test für abhängige Stichproben eingesetzt. Die Berechnung von Zwischengruppenunterschieden auf der Basis der prozentualen Veränderung zwischen Eingangs- und Kontrollmessung erfolgte mittels einfaktorier Varianzanalyse. Für die Subgruppen der nicht-trainierenden Kontrollgruppe erfolgt aufgrund der (zu) niedrigen Stichprobenumfänge keine Berechnung der Signifikanz.

Die Prüfung der Signifikanz der Einzelvergleiche wurde programmintern

( $p < 0.05$ ), bei der früh-postmenopausalen Gruppe um 2.5 % ( $p < 0.01$ ) und bei der spät-postmenopausale Gruppe um 1.8 % ( $p < 0.05$ ). Zwischen den Gruppen konnten keine statistischen Unterschiede bezüglich der prozentualen Veränderung erfaßt werden.

Die Breite der Lendenwirbelkörper 2-4 veränderte sich in allen drei Gruppen tendenziell positiv. Bei Vergleich der prozentualen Veränderungen zeigten sich zwischen den Gruppen keine Unterschiede (Tab. 4).

Die Knochendichte am Schenkelhals erhöhte sich in den drei Gruppen um 0,4-0,7% nicht signifikant. Auch hier zeigten

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen ausgewählter basaler Knochenparameter innerhalb der Gruppen unterschiedlicher Lebensabschnitte und Berechnung der Zwischengruppenunterschiede. Zum Vergleich: MW  $\pm$  SD der nicht-trainierenden Kontrollgruppe (rechts).

Variable (basal)	prämenopausal (n=14)	früh-postpausal (n=15)	spät-postmenopausal (n=17)	Unterschiede	Kontrollgruppe (n=18)
BMD-LWS (g/cm <sup>2</sup> )	1.228 $\pm$ 0.156	1.115 $\pm$ 0.186	1.048 $\pm$ 0.169	**	1.151 $\pm$ 0.195
Breite LWK 2-4 (cm)	4.23 $\pm$ 0.39	4.24 $\pm$ 0.32	4.19 $\pm$ 0.36	n.s.	4.24 $\pm$ 0.33
BMD-Schenkelhals g/cm <sup>2</sup>	0.957 $\pm$ 0.181	0.931 $\pm$ 0.141	0.804 $\pm$ 0.121	**	0.918 $\pm$ 0.128
BMD-Ward' (g/cm <sup>2</sup> )	0.851 $\pm$ 0.199	0.772 $\pm$ 0.135	0.639 $\pm$ 0.132	*	0.778 $\pm$ 0.171
BMD-Trochanter g/cm <sup>2</sup>	0.814 $\pm$ 0.139	0.789 $\pm$ 0.143	0.682 $\pm$ 0.124	**	0.803 $\pm$ 0.137
Gesamtkalzium (g)	975 $\pm$ 169	936 $\pm$ 145	841 $\pm$ 139	*	925 $\pm$ 141

(SPSSwin) über den Scheffe-Test durchgeführt. Bei Vergleich von zwei Gruppen erfolgte der Test mittels unabhängigem T-Test. Lag keine Normalverteilung bzw. keine Varianzhomogenität vor, wurden die Daten mit parameterfreien Verfahren bearbeitet. Eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  wird als überzufällig (signifikant) definiert (\*).  $p < 0,01$  wird im weiteren als sehr signifikant (\*\*) und  $p < 0,001$  als hochsignifikant (\*\*\*) bezeichnet.

## Ergebnisse

### Anthropometrische Daten

Anthropometrische Variablen wurden, wie Tabelle 3 zeigt, von der Interventionsmaßnahme nicht wesentlich beeinflusst.

### Knochenparameter

Nach Trichotomisierung der häufig trainierenden Gruppe (n=46) zeigten sich die in Tabelle 4 dargestellten Ergebnisse. Die **Knochendichte an der LWS** stieg während des Untersuchungszeitraumes bei der prämenopausalen Gruppe um 1.9

sich keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede.

Am Ward'schen Dreieck und am Trochanter zeigte sich für die Knochendichte bei den prämenopausalen Frauen eine Stagnation der Werte, während die früh-postmenopausale Gruppe an diesen Meßregionen eine tendenzielle Verbesserung (1.3 % bzw. 1.1 %) und die spät-postmenopausale Gruppe eine Verbesserung der Knochendichte um 1.1 % am Ward'schen Dreieck sowie eine tendenzielle Erhöhung der Knochendichte am Trochanter aufwies. Trotz tendenzieller Unterschiede der prozentualen Veränderungen konnten mittels Varianzanalyse keine signifikanten Zwischengruppenunterschiede erfaßt werden.

Das mittels DXA erfaßte **Gesamtkalzium** veränderte sich bei den früh-postmenopausalen Frauen sehr deutlich aber nicht signifikant. Die prämenopausale Gruppe zeigte ebenso wie die spät-postmenopausale Gruppe keine wesentlichen Veränderungen dieses Knochenparameters.

Bei den entsprechenden Subgruppen der nicht-trainierenden Kontrollgruppe zeigte die prämenopausale Subgruppe (n=4 !) die geringsten Veränderungen

(BMD-LWS: + 0.4 %; Breite LWK 2-4: + 0.2 %; BMD-Schenkelhals: -0.4 %; Ward': -0.6 %; Trochanter: -0.5 %; Gesamtkalzium: -0.7 %). Sowohl die früh-postmenopausale wie auch die spät-postmenopausale Kontrollgruppe

zeigte, reagierte die Gruppe der postmenopausalen Frauen mit teilweise deutlichen Reduktionen (bspw. Radius: -1.3 %, Humerus: -1.8 %), wobei sich beide Trainingsgruppen allerdings signifikant positiv von den entsprechenden nicht-trainierenden Kontrollgruppen unterschieden.

Tab. 3: Mittelwert, ± Standardabweichung der anthropometrischer Daten, Prüfung auf Signifikanz im Verlauf, sowie Zwischengruppenvergleich. Zum Vergleich: Daten der Kontrollgruppe (rechts).

Variable (basal)	prämeno- pausal (n=14)	früh-post- pausal (n=15)	spät-postmeno- pausal (n=17)	Unter- schiede	Kontrollgruppe (n=18)
BMI (kg/m) <sup>2</sup> Test 1	23.8±2.5	25.5±4.2	26.2±3.8	n.s.	27.4±5.3
Test 2	23.9±2.6	25.3±4.1	25.9±3.7	n.s.	27.1±5.0
Körperfett (%) Test 1	36.0±4.9	36.7±6.1	38.4±7.1	n.s.	39.2±6.2
Test 2	35.9±5.2	37.2±6.8	38.2±6.5	n.s.	39.3±6.6

(je n=7) zeigte für alle Knochenparameter deutliche negative Veränderungen. Die Knochendichte an der LWS reduzierte sich jeweils um 1,2 %, die Wirbelkörperbreite um 0,6 % respektive 0,1 % (früh- vs. spät-postmenopausal). Vergleichsweise am ausgeprägtesten war die Knochenreduktion am proximalen Femur (Schenkelhals: -1.2

stellt sich nach Gerber und Rey (14) die „Kardinalfrage“, ob ein optimiertes und individualisiertes körperliches Training auch bei Personengruppen mit eher negativen Ausgangsbedingungen zu einem Erhalt/einer Verbesserung von Knochenparametern wie u.a. der Knochendichte führen kann. So wäre es denkbar, daß

Tab. 4: prozentuale Veränderungen der Knochendichte unterschiedlicher Körperregionen, der Wirbelkörperbreite und des Gesamtkalzium, Signifikanz im Verlauf, sowie Zwischengruppenvergleich auf der Basis der prozentualen Veränderungen. Zum Vergleich: Daten der Kontrollgruppe (rechts).

Variable (basal)	prämeno- pausal (n=14)	früh-post- pausal (n=15)	spät-postmeno- pausal (n=17)	p	Kontrollgruppe (n=18)
BMD-LWS	1.9±2.1%*	2.5±2.6**	1.8±2.5%	n.s.	-0.7±2.4%
Breite LWK 2-4	0.8±1.6%	0.6±1.7%	0.8±2.0%	n.s.	-0.2±1.6%
BMD-Schenkelhals	0.4±2.5%	0.4±2.1%	0.7±2.4%	n.s.	-1.1±2.4%
BMD-Ward'	-0.1±3.4%	1.3±3.4%	1.1±3.7%	n.s.	-1.2±1.8%
BMD-Trochanter	0.1±2.3%	1.1±3.1%	0.7±3.3%	n.s.	-1.2±2.4%
Gesamtkalzium	0.2±2.6%	1.4±2.5%	0.2±2.3	n.s.	-0.6±1.6%

vs. -1.7 %; Ward': -1.8 % vs. -1.1 %; Trochanter: -1.0 % vs. -2.1 %). Das Gesamtkalzium reduzierte sich bei allen Gruppen in vergleichbarem Maße (prä.: -0.8 % vs. früh-post.: -0.8 % vs. spät-post.: -0.3 %).

Eine weiterführende statistische Berechnung der nach dem hormonellen Status gegliederten Kontrollgruppe wurde wegen eines zu geringen Stichprobenumfangs nicht durchgeführt. Auch die an dieser Stelle aufgeführten Mittelwerte sollten sehr vorsichtig interpretiert werden.

insbesondere Frauen in der frühen Postmenopause, die aufgrund der veränderten hormonellen Situation mit beschleunigten Knochenumbauvorgängen und teilweise „dramatischen“ Rückgängen der Knochenmasse/Knochendichte einhergeht (39-41), deutlich weniger von einem körperlichen Training profitieren, als prämenopausale Frauen oder Frauen in der späten Postmenopause (7, 26, 28, 31, 47).

So konnten Smith et al. (46) nach vierjähriger Intervention für eine prämenopausale Trainingsgruppe verglichen mit einer postmenopausalen Trainingsgruppe tendenziell günstigere Verläufe der Knochenmasse an Radius, Ulna und Humerus nachweisen. Während die prämenopausale Frauengruppe keine wesentliche Veränderung der Knochendichte

zeigte, reagierte die Gruppe der postmenopausalen Frauen mit teilweise deutlichen Reduktionen (bspw. Radius: -1.3 %, Humerus: -1.8 %), wobei sich beide Trainingsgruppen allerdings signifikant positiv von den entsprechenden nicht-trainierenden Kontrollgruppen unterschieden.

Bassey et al. (4) bestätigten diese Ergebnisse, indem sie durch ein unserer Einschätzung nach eher suboptimales Interventionsprogramm (50 vertikale Sprünge/Tag, Sprunghöhe 8.5 cm (?), 6 Tage in der Woche, keine progressive Belastungssteigerung) nach 6 Monaten nur bei der prämenopausalen Subgruppe signifikant positive Veränderungen der Knochendichte am Femur nachweisen konnten. Bei der postmenopausalen Gruppe kam es trotz einer Verlängerung des Interventionszeitraumes auf 12 Monate zu einer signifikanten Reduktion der Knochendichte an Femur und LWS, welche das Ausmaß der nicht-trainierenden Kontrollgruppe tendenziell noch übertraf (!).

Auch Goto et al. (16) wiesen durch eine kontrollierte Längsschnittstudie bei langjährig trainierten Volleyballspielerinnen bzw. Läuferinnen in unterschiedlichen Lebensabschnitten nach, daß die Knochendichte an Schenkelhals und LWS bei Frauen in der perimenopausalen (n=9) und postmenopausalen (n=7) Lebensphase trotz körperlicher Belastung teilweise sehr deutlich absinkt. Bei prämenopausalen Frauen zeigte sich hingegen keine (LWS) bzw. eine deutlich positive Veränderung (Schenkelhals) der Knochendichte.

Die vorliegende Untersuchung zeigte für Frauen in unterschiedlichen Lebensperioden keine signifikant unterschiedlichen Veränderungen von Knochenparametern nach Intervention durch ein gezieltes Trainingsprogramm. Daß gerade Frauen in der frühen Postmenopause tendenziell am deutlichsten von einem körperlichen Training profitieren konnten, erstaunte und steht in gewissem Gegensatz zur vorliegenden Literatur. Zumal sich die bekannten stärkeren Umbauvorgänge im Knochen in dieser Lebensphase in der Kontrollgruppe andeuteten.

Für die Erfolge eines körperlichen Trainings bei Frauen vor der Menopause gibt es viele Belege (3, 15, 18, 25, 45). Das Ausmaß der Veränderungen wird dabei wesentlich von der Art der Trainingsbelastung bestimmt.

## Diskussion

Die Bedeutung körperlicher Belastung zur Prophylaxe oder Therapie der Osteoporose wird durch die positiven Ergeb-

Nur wenige Interventionsstudien beschäftigen sich mit den Auswirkungen körperlicher Belastung auf ossäre Parameter bei Frauen in der frühen Postmenopause (17, 34, 36, 37). Während *Prince et al.* (34) wegen einer, unserer Einschätzung nach, zu geringen Belastungsintensität keine knochenanabolen Effekte auszulösen vermochten, war die Belastungsform und -intensität der Studien von *Grove et al.* (17), *Pruitt et al.* (36) und *Revel et al.* (37) sicherlich geeignet, adaptative Prozesse zu induzieren.

*Grove et al.* (17) wiesen, allerdings bei geringer Fallzahl (je n=5), für eine Untergruppe, die mit hoher Belastungsintensität (high-impact-Aerobic) trainierte, eine deutliche Verbesserung der Knochendichte an der LWS (+1.7 %) nach. Die Knochendichte der Kontrollgruppe reduziert sich während des 12monatigen Interventionszeitraums signifikant um 9.4 % (!).

*Pruitt et al.* (36) erfaßten nach einem 9monatigen, dynamischen Krafttraining großer Muskelgruppen eine deutliche Verbesserung der Knochendichte an der LWS (+1.6 %) bei gleichzeitig deutlicher Reduktion der Knochendichte am Femur, welche das Ausmaß des Knochendichteverlusts der Kontrollgruppe deutlich überstieg (-2.7 % vs. -0.8 %).

Mit einem einfachen 12monatigen Interventionsprogramm (Hüftbeugen gegen Widerstand) wiesen *Revel et al.* (37) einen Erhalt der Knochendichte an der LWS nach, während die Kontrollgruppe eine sehr deutliche Reduktion der trabekulären Knochendichte (-7.1 %) zeigte.

Auch bei 60-80jährigen Frauen konnte in verschiedenen Studien ein positiver Effekt auf die Knochenzusammensetzung durch überschwellige und ausreichend häufige körperliche Belastung nachgewiesen werden (6, 19, 24, 35, 42). *Bloomfield et al.* (6) wiesen nach 8monatiger, nicht-axialer Ausdauerbelastung eine deutliche Verbesserung der Knochendichte an Femur und LWS (2.5 % und 3.6 %), bei z.T. ausgeprägten Verlusten innerhalb der nicht-trainierenden KG (-0.7 % und -2.4 %), nach. *Hartard et al.* (19) wiesen für Frauen nach einem 6monatigem intensiven Muskeltraining an Geräten einen Erhalt der Knochendichte an der LWS und einen, verglichen mit der KG, moderaten Rückgang der Knochendichte am Schenkelhals (-2.3 % vs. -8.5 % (!)) nach. *Ryan et*

*al.* (42) konnte dagegen trotz vergleichbarem Trainingsprotokoll (s.o.) nach lediglich 4monatigem Interventionszeitraum keine Veränderung der Knochendichte an LWS oder Schenkelhals erfassen. Allerdings stand in diesem Fall keine Kontrollgruppe zum Vergleich. *Kohrt et al.* (24) zeigten nach progressivem Training (ground-reaction-forces vs. joint-reaction-forces) für beide Belastungsformen überwiegend positive Einflüsse auf die Knochendichte an LWS (+1.8 % vs. +1.5 %), Schenkelhals (+3.5 % vs. -0.5 %) und Gesamtkörper (+2.0 % vs. +1.6 %), die sich mit Ausnahme der Schenkelhalsregion („joint-reaction-group“) jeweils signifikant von den negativen Daten der Kontrollgruppe unterschieden. *Prince et al.* (35) untersuchten die Auswirkungen eines 2jährigen Ausdauertrainings (Gehen bei 60 % Hfmax) auf die Knochendichte an LWS und Schenkelhals. Trotz leichter Belastungsform konnte für die Trainingsgruppe verglichen mit der Kontrollgruppe tendenziell bessere Verlaufswerte (LWS p.a.: +0.7 % vs. +0.1 %) Schenkelhals p.a.: +0.3 % vs. -0.2 %) erfaßt werden.

Unserer Einschätzung nach, unterstützt die obige Literaturübersicht unser Ergebnis, daß Frauen in jeder Lebensphase von einem geeigneten körperlichen Training profitieren können. Fokussiert man die besonders „kritische“ Gruppe der Frauen in den frühen Jahre nach Ausbleiben der endogenen Östrogenprotektion des Knochens, so zeigen unsere Ergebnisse, in Einklang mit den Daten der vorliegenden Literatur, daß der hormonmangelinduzierte Knochenverlust auch in dieser Lebensphase durch regelmäßige und intensive körperliche Belastung offensichtlich teilweise oder ganz kompensiert werden kann. Die Gründe dieser Kompensation können dabei sehr komplex sein.

Das Zusammenwirken von weiblichen Geschlechtshormonen und körperlicher Belastung läßt sich unserer Meinung nach am besten mit der von *Frost* (12) und *Turner* (48) vorgeschlagenen set-point-Theorie begründen. Durch die Östrogenwirkung soll es dabei zu einer Absenkung der (mechanischen) Reizschwelle (minimum-effectiv-strain, u.a. 13) kommen, die zur Stimulation neuer Knochenformation überschritten werden muß. Ist der mechanische Reiz allerdings ausreichend hoch wie bspw. beim Laufen, dem mechanisch

eine Peak-Belastung von ca. 2000  $\mu$ E zugeordnet wird (1, 27), so kommt es auch ohne die „unterstützende“ Wirkung des Östrogens zu einem Überschreiten der im Bereich von 1000-1500  $\mu$ E liegenden Modellierung-Reizschwelle (u.a. 13) und somit anscheinend zur Knochenformation.

Ein anderer Erklärungsansatz wäre, daß körperliche Belastung im Sinne eines sportlichen Trainings der Ausdauer und Kraft zum einen zu einer akuten (extraglandulären) Synthese und Ausschüttung weiblicher und männlicher Geschlechtshormone führt (u.a. in 9, 20, 23, 51) zum anderen scheinbar zu einer Erhöhung der basalen Sexualhormonspiegel (u.a. 8, 49) beiträgt. Auch eine belastungsinduzierte Erhöhung der akuten GH- und IGF-I- (u.a. 23, 29, 43) sowie 1.25 (OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>-Konzentration (29) per se bzw. in Verbindung mit einer erhöhten basalen Serumkonzentration könnte über diesen systemischen Pfad Wirkung am Skelett entfalten (u.a. 33).

Das Ergebnis, daß gerade Frauen in der frühen Postmenopause mit am deutlichsten von einem körperlichen Training profitieren, bedarf weiterer kritischer Hinterfragung. Neben einer Überprüfung unserer Daten durch hohe Fallzahlen und einen längeren Untersuchungszeitraum, sollte eine weiterführende Untersuchung überprüfen, ob auch Frauen mit einem „high-turnover Phänomen“ von einem körperlichen Training profitieren können. In diesem Zusammenhang sollte auch die oben beschriebene „systemische“ Komponente körperlicher Belastung Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

## Literatur

- (1) *Allen, S.H.*: Exercise considerations for postmenopausal women with osteoporosis. In: *Arthritis Care and Res.* 7 (1994), 205-214
- (2) *Bailey, D.A.; McCulloch, R.G.*: Bone tissue and physical activity. *Can J Sport Sci* 15 (1990), 229-239
- (3) *Bassey, E.J., Ramsdale, S.J.*: Increase in femoral bone density in young women following high impact aerobic. *Osteoporosis Int.* 4 (1994), 72-75
- (4) *Bassey E.J., Rothwell M.C., Littlewood J.J., Pye D.W.*: Pre- and postmenopausal women have different bone mineral density responses to the same high impact exercise. *J Bone Miner Res* 13 (1998), 1805-1813
- (5) *Berard A., Bravo G, Gauthier P.*: Meta-analysis of the effectiveness of physical activity for the prevention of bone loss in postmenopausal women. *Osteoporosis Int.* 7 (1997), 331-337

- (6) *Bloomfield S.A., Williams N.I., Lamb D.R., Jackson R.D.*: Non-weightbearing exercise may increase lumbar spine bone mineral density in healthy postmenopausal women. *Am J Phys Med Rehabil* 73 (1993), 204-209
- (7) *Cook S.D. et al.*: Trabecular bone density and menstrual function in women runners. *Am J Sports Med* 15 (1987): 503-507
- (8) *Cumming D.C., Wall S.R., Galbraith M.A., Belcastro A.N.*: Reproductive hormone response to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 19 (1987), 234-238
- (9) *Cumming D.C. et al.*: The effects of acute exercise on endocrine homeostasis. In: *Hormone and Sport* (Ed.: Laron, Z., Rogol, A.D.). New York 1989
- (10) *Drinkwater B.L.*: Does physical activity play a role in preventing osteoporosis? *Res Q Exerc Sport* 65 (1994), 197-206
- (11) *Eftinger B.*: Prevention of osteoporosis: Treatment of estradiol deficiency. *Obstetrics and Gynecology* 72 (1988)5, Suppl., S12-17
- (12) *Frost H.M.*: The role of changes in mechanical usage set points in the pathogenesis of osteoporosis. *J Bone Miner Res* 7 (1992), 253-261
- (13) *Frost H.M.*: Defining Osteopenias and Osteoporosis. *Bone* 20 (1997): 385-391
- (14) *Gerber N., Rey B.*: Can exercise prevent osteoporosis or reverse bone loss. *Physiotherapie* 14 (1991), 47-60
- (15) *Gleeson P.B., Protas E.J., LeBlanc A.D., Schneider V.S., Evans H.J.*: Effects of weight lifting on bone mineral density in premenopausal women. *J Bone Miner Res* 5 (1990), 153-158
- (16) *Goto S., Shigeta H., Hyakutake S., Yamagata M.*: Comparison between menopause-related changes in BMD of the lumbar spine and the proximal femur in Japanese female athletes: A long-term study using dual-energy x-ray absorptiometry. *Calcif Tissue Int* 59 (1996), 461-465
- (17) *Grove K.A., Londeree B.R.*: Bone density in postmenopausal women: High impact vs. low impact exercise. *Med Sci Sports Exerc* 24 (1992), 1190-1194
- (18) *Heinonen A. et al.*: Randomized controlled trial of effect of high impact exercise on selected risk factors for osteoporosis. *Lancet* 348 (1996), 1343-1347
- (19) *Hartard M. et al.*: Einfluß eines systematischen Krafttrainings auf die Knochendichte und das Niveau von Schmerzen und Befindlichkeit in einer Gruppe Frauen mit Osteopenie. *Regulations- und Repairmechanismen* (Ed.: Liesen, H., Weiß, M., Baum, M.). Deutscher Ärzte-Verlag Köln 1994
- (20) *Keizer H.*: Hormonal response in women as a function of physical exercise and training. Haarlem 1983
- (21) *Kemmler W.*: Körperliche Belastung und Osteoporose. Dissertation Bayreuth 1996
- (22) *Kemmler W.*: Körperliche Belastung und Osteoporosis. Einfluß einer 10monatigen Interventionsmaßnahme auf ossäre und extraossäre Risikofaktoren einer Osteoporose. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 9: 270-277
- (23) *Krämer W.J. et al.*: Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 12 (1991): 228-235
- (24) *Kohrt W.M., Ehsani A.A., Birge S.J.*: Effects of exercise involving predominantly either joint-reaction or ground-reaction forces on bone mineral density in old women. *J Bone Miner Res* 12 (1997): 1253-1261
- (25) *Lohman T. et al.*: Effects of resistance training on regional and total bone mineral density in premenopausal women: A randomized prospective study. *J Bone Miner Res* 10 (1995): 1015-1024
- (26) *Marcus R.J. et al.*: Menstrual function and bone mass in elite women distance runners. *Ann Intern Med* 102 (1985): 158-163
- (27) *Marcus R.*: Physical activity and regulation of bone mass. *Osteoporosis, fundamental of clinical practice.* (Ed. Murray J. Favus). New York 1997
- (28) *Myerson M. et al.*: Total body bone density in amenorrheic runners. *Obstet Gynecol* 79 (1992): 973-978
- (29) *Nelson M.E., Meredith C.N., Dawson-Hughes B., Evans W.J.*: Hormone and bone mineral status in endurance-trained and sedentary women. *J Clin Endocrinol Metab* 66 (1988): 927-933
- (30) *Okano H. et al.*: The long-term effect of menopause on postmenopausal bone loss in Japanese women: results from a prospective study. *J Bone Miner Res* 13 (1998): 303-309
- (31) *Pearce G. et al.*: Does weight bearing exercise protect against the effect of exercise-induced oligomenorrhea on bone density. *Osteoporosis Int* 6 (1996): 448-452
- (32) *Pfeilschifter J.*: Der Knochenstoffwechsel und seine Aktivitätsparameter. *Internist* (1990)31: 727-736
- (33) *Platen P.*: Sport und Osteoporose. *Dtsch Z Sportmed* 46 (1995): 267-269
- (34) *Prince R.L. et al.*: Prevention of postmenopausal osteoporosis. *N Engl J Med* 325 (1991)17: 1189-1195
- (35) *Prince R.L. et al.*: The effect of calcium supplementation (milk powder or tablets) and exercise on bone density in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 10 (1995): 1068-1075
- (36) *Pruitt L.A., Jackson R.D., Bartels R.L., Lehnhard H.J.*: Weight-training effects on bone density in early postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 7 (1992): 179-185
- (37) *Revel M. et al.*: One-year psoas training can prevent lumbar bone loss in postmenopausal women: A randomized controlled trial. *Calcif Tissue Int* 53 (1993): 307-311
- (38) *Richelson L.S. et al.*: Relative contribution of aging and estrogen deficiency to postmenopausal bone loss. *N Engl J Med* 311 (1984): 1273-1275
- (39) *Riggs B.L. et al.*: Rates of bone loss in axial and appendicular bone loss skeletons of women: Evidence of substantial vertebral bone loss prior to menopause. *J Clin Invest* 77 (1986): 1487-1491
- (40) *Rockwell J.C. et al.*: Weight training decreases vertebral bone density in premenopausal women: A prospective study. *J Clin Endocrinol Metab* 71 (1990): 988-993
- (41) *Rüeggsegger P., Dambacher M.A., Rüeggsegger A., Fischer J.A., Anliker M.*: Bone loss in premenopausal and postmenopausal women: A cross-sectional and longitudinal study using quantitativ computed tomography. *J Bone Joint Surg* 66 (1984): 1015-1023
- (42) *Ryan A.S., Treuth M.S., Hunter G.R., Elahi D.*: Resistive training maintains bone mineral density in postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* 62 (1998): 295-299
- (43) *Schmidt W., Brisson G.R., Dore S., Hilgendorf A., Strauch S.*: Wachstumshormon - Insulin-like Growth Factor I (IGF-I) Achse nach körperlicher Belastung. In: *Regulations- und Repairmechanismen* (Ed.: Liesen, H., Weiß, M., Baum, M.). Deutscher Ärzte-Verlag Köln 1994
- (44) *Senn E.*: Grundlagen der positiv-trophischen Wirksamkeit physikalischer Belastung auf normales, osteopenisches und osteoporotisches Knochengewebe. *Physik Med* 4 (1994): 133-134
- (45) *Sinaki M. et al.*: Three year controlled, randomized trial of the effect of dose-specified loading and strengthening training exercises on BMD of spine and femur in nonathletic, physical active women. *Bone* 19 (1996): 233-244
- (46) *Smith E.L. et al.*: Deterring bone loss by exercise intervention in premenopausal and postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* 44 (1989): 312-321
- (47) *Snead D.B. et al.*: Reproductive hormones and bone mineral density in women runners. *J Appl Physiol* 72 (1992a): 2149-2156
- (48) *Turner C.H.*: Homeostatic control of bone structure: An application of feedback theorie. *Bone* 12 (1991): 203-217
- (49) *Wallace J.P.*: Serum concentrations of sex hormones during exercise in pre-, peri- und postmenopausal women. Dissertation, Pennsylvania State University 1981
- (50) *Wolff J., van Croonenborg J.J., Kemper H.C., Kostense P.J., Twisk J.W.*: The effect of exercise training on bone mass: a meta-analysis of published controlled trials in pre- and postmenopausal women. *Osteoporos Int* 9 (1999): 1-12
- (51) *Wurster K.G.*: Einfluß von Leistungssport auf das endokrine System der Frau. Berlin 1986

**Anschrift für die Autoren:**  
**Dr. Wolfgang Kemmler,**  
**wissenschaftlicher Mitarbeiter am**  
**Osteoporoseforschungszentrum (OFZ)**  
**Institut für medizinische Physik**  
**Friedrich-Alexander Universität**  
**Erlangen**  
**Krankenhausstraße 12**  
**91054 Erlangen**  
**Telefon 09131-852829**