

Redaktion

Thomas Strowitzki, Heidelberg
Birgit Friedmann-Bette, Heidelberg
Michael von Wolff, Bern



Knochengesundheit und Hochleistungssport

Lisa-Maria Wallwiener¹ · Barbara Kapfer² · Vanadin Seifert-Klauss¹

¹Gynäkologische Endokrinologie, Interdisziplinäres Osteoporose-Zentrum (IOZ) und Endometriose-Zentrum, Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, München, Deutschland

²Klinik für Anästhesiologie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, München, Deutschland

Zusammenfassung

Regelmäßige körperliche Betätigung trägt zu einer gesunden Knochendichte bei, Leistungssportlerinnen in einigen Sportarten weisen jedoch eine erhöhte Prävalenz erniedrigter Knochendichte sowie vermehrt Stressfrakturen auf. Häufig liegt dem ein relatives Energiedefizit (RED), verbunden mit hoher mechanischer Belastung und intensivem Trainingsalltag, zugrunde. Das Vorliegen eines RED im Sport ist oft unterdiagnostiziert, daher hat sich eine systematische multidisziplinäre Zusammenarbeit unter Zuhilfenahme standardisierter Tests, z. B. des RED-S CAT (Relative Energy Deficiency in Sport Clinical Assessment Tool) als hilfreich erwiesen. Therapieansätze zielen primär auf eine Behebung der negativen Energiebilanz der Patientin als auch auf psychotherapeutische Interventionen ab. Darüber hinaus kann in schweren Fällen eine medikamentöse Therapie zur Unterstützung sowohl einer ausgeglichenen hormonellen Situation als auch des Knochenstoffwechsels notwendig sein.

Schlüsselwörter

Sportlerinnen · Relatives Energiedefizit im Sport · Anovulation · Menstruationszyklus · Knochenstoffwechsel

In diesem Beitrag

- Hochleistungssport
- Knochenstoffwechsel und Sport
- „Female athlete triad“
- RED-S
- Zyklusstörungen bei Athletinnen
- Anovulation, Knochenstoffwechsel und der Risikofaktor sekundäre Amenorrhö
- Diagnostik
Knochendichtemessungen • Weitere Diagnostik
- Wichtigster Therapieansatz: Beseitigung des Energiedefizits
- Weitere präventive Ansätze für die Knochengesundheit

Leistungssportlerinnen stellen ein besonderes Kollektiv an Patientinnen in der gynäkologischen Endokrinologie dar. Aufgrund des erhöhten Anspruchs durch die vermehrte körperliche Betätigung liegt ein besonderes Augenmerk auf der Knochengesundheit der Athletinnen. Dabei kann eine Verminderung der Knochengesundheit sowohl professionelle Sportlerinnen als auch ambitionierte Freizeitsportlerinnen in gleichem Maße betreffen.

Hochleistungssport

Hochleistungssport zeichnet sich durch Spitzenleistungen in einer bestimmten Sportart aus. Die Begriffsdefinition des Hochleistungssports erscheint insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass es sonst zu Verallgemeinerungen für alle Sportlerinnen kommen kann. Als Leistungssportlerinnen gelten alle Athletin-

nen, bei denen der Leistungsgedanke und das Streben nach einer überdurchschnittlichen Leistung klar in den Vordergrund gerückt sind, in der Regel verbunden mit einer regelmäßigen Teilnahme an Wettkämpfen. Darüber hinaus werden alle Sportlerinnen, welche nach nationalen oder internationalen Maßstäben hervorragende Leistungen erbringen, als Hochleistungssportlerinnen bezeichnet. Das Training findet in beiden Gruppen bereits mindestens über mehrere Jahre mittels geplanten, meist mehrstündigen täglichen Trainings bei hohen Intensitäten statt.

Leistungssport kann verschiedene Altersgruppen umfassen:

- Jugendsportler (Alter: 12–17 Jahre);
- jüngere Erwachsenensportler (Alter: 18–35 Jahre);



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

- ältere Erwachsenen Sportler, oftmals als Masterathleten bezeichnet (Alter: 35 Jahre und älter).

In manchen Sportarten, z.B. im Geräteturnen oder in der Rhythmischen Sportgymnastik betreiben schon 7- bis 8-Jährige Leistungssport, z.T. im Landeskader. Es gibt Trainer, die schon in dieser Altersgruppe die Kalorienzufuhr kontrollieren und auf einem niedrigen Niveau halten wollen.

Knochenstoffwechsel und Sport

Bewegung ist ein wichtiger und protektiver Faktor zur Prävention des Auftretens einer Osteoporose. Mit 20 Jahren sind ungefähr 90 % der maximalen Knochenmasse erreicht, und die mit 30 Jahren erreichte Knochenmasse entspricht dem Maximum, welches in einer Lebensspanne erreicht werden kann. Daher sollte für Leistungssportlerinnen der langfristige Erhalt einer gesunden Knochenmasse bzw. der positive Effekt der physischen Aktivität ihrer Sportart über eine Maximierung der sportlichen Leistungsfähigkeit gestellt werden. Ein einmal erworbenes Defizit in dieser Zeitspanne lässt sich nach Beendigung der sportlichen Karriere nicht mehr gänzlich wiederherstellen.

Allein durch die Art der mechanischen Belastung der jeweiligen Sportart ergibt sich bereits ein unterschiedlicher Einfluss auf das Knochengewebe. Insbesondere High-impact-Sportarten oder Sportarten, bei welchen rasche Richtungswechsel, Sprünge oder Drehmomente erforderlich sind (z.B. Fußball, Volleyball, Tennis, Turnen und Kampfsport) scheinen mit höherer Knochendichte und Knochenstärke einherzugehen. Im Gegenzug hierzu weisen Ausdauersportler (insbesondere Langstreckenläufer und Rennradfahrer) sowie Schwimmer ein erhöhtes Risikoprofil für einen alternierten Knochenstoffwechsel in Bezug auf ihre ausgeübte Sportart auf. Besonders ausgeprägt scheinen solche positiven Knocheneffekte in der Präpubertät bzw. frühen Pubertät zu sein. So konnte beispielsweise bei jungen Turnerinnen ein bis zu 85 % iger Anstieg der BMD („bone mineral density“) im Vergleich zu ihren nicht sportlich aktiven Altersgenossen gezeigt werden [1]. Auch junge Tennisspielerinnen wiesen eine deutliche

Seitendifferenz beider Arme mit um bis zu 15 % höherer BMD im Seitenvergleich auf [2]. Es scheint, dass dieser in jungen Jahren erworbene positive Effekt auch nach Einstellen der leistungssportlichen Tätigkeit für 5 bis 10 Jahre in signifikanter Ausprägung erhalten bleibt und sogar für weitere 4 bis 5 Dekaden bis ins späte Erwachsenenalter weiterhin mit einem kleinen Nutzen verbunden ist [1–3].

Unabhängig von der mechanischen Belastung der ausgeübten Sportart sollte jedoch auch ein besonderes Augenmerk auf allen Sportarten liegen, bei welchen aus ästhetischen oder sportlichen Gründen die Einhaltung eines bestimmten Körpergewichts notwendig ist (Läufer, Tänzer, Jockeys etc.). Durch die starke Nahrungsabhängigkeit des Knochens ergibt sich sowohl aus dem langfristigen als auch aus dem akuten Mangel an Nährstoffen eine unmittelbare Modulation des Knochenstoffwechsels.

„Female athlete triad“

Mittels der „female athlete triad“ (FAT) wurde 1992 ursprünglich der klinische Zusammenhang definiert, der die abhängige Beziehung zwischen Energieverfügbarkeit, Menstruationszyklus und Knochengesundheit beschreibt. Diese Definition wurde 2014 im Rahmen eines Konsensusstatements des Internationalen Olympischen Komitees (IOC) überarbeitet, erweitert und ersetzt durch den Begriff des relativen Energiemangels im Sport („relative energy deficiency in sports“, RED-S), welcher nun – da nicht zwangsläufig auf Sportlerinnen beschränkt – auch für männliche Athleten sowie Paraathleten Anwendung findet.

RED-S

RED-S beschreibt ein pathophysiologisches Kontinuum der gesunden Athletin mit optimaler Energieverfügbarkeit („energy availability“, EA), normalem Zyklus und gesunder Knochendichte bis hin zur Athletin mit Amenorrhö, niedriger Energieverfügbarkeit („low energy availability“, LEA) und Osteoporose am anderen Ende.

Die weitreichenden Auswirkungen der LEA auf endokrine Funktionen sind in den **Abb. 1 und 2** zusammengefasst.

» Der dem RED-S ätiologisch zugrunde liegende Faktor ist ein relativer Energiemangel

Die Evidenz der letzten Jahre hat gezeigt, dass der dem RED-S ätiologisch zugrunde liegende Faktor ein relativer Energiemangel (LEA) ist. Die Energieverfügbarkeit des Athleten wird definiert durch die Differenz von Energieaufnahme und Energieverbrauch durch physische Aktivität, bezogen auf die fettfreie Körpermasse (FFM). Die Schwierigkeit dieser an sich sehr einfachen Definition liegt darin zu bestimmen, wie hoch sowohl die Aufnahme als auch der Verbrauch ist und welcher sich daraus ergebende Wert tatsächlich einen Schwellenwert für einen veränderten Knochenstoffwechsel darstellen könnte. Bei erwachsenen Athleten wird eine Energieverfügbarkeit von 45 kcal/kg FFM/Tag empfohlen, um das Auftreten eines RED-S sicher zu vermeiden. Ihle und Loucks [4] konnten zeigen, dass schon eine leicht reduzierte Energieverfügbarkeit von 30 kcal/kg FFM/Tag bei jungen gesunden Frauen modulierende Effekte auf den Knochenaufbau ergab, nicht aber auf die Resorption. Diese Veränderungen lassen sich schon nach wenigen Tagen erkennen. Bei noch ausgeprägteren Werten von ungefähr 15 kcal/kg FFM/Tag wird ein Zusammenhang mit amenorrhöischen Athletinnen beschrieben [4, 5]. Hierbei scheint das Risiko desto höher zu sein, je geringer die Kalorienaufnahme anteilig im Verhältnis zur berechneten Bedarfenergieverfügbarkeit ist. Anders formuliert, scheint bei adäquater Nährstoffaufnahme auch ein umfangreiches und intensives Training nicht so unmittelbar zu den beschriebenen Effekten zu führen [6].

Eine 57 kg schwere Läuferin mit einem Körperfettanteil von weniger als 10 % sollte demnach etwa 2450 kcal/Tag zur Verfügung haben. Wenn sie jedoch durch das tägliche mehrstündige Training eine Energiemenge in der Größenordnung zwischen 3000 und 4000 kcal/Tag verbraucht, ergibt dies einen Gesamttagesbedarf von ungefähr 5500–6000 kcal/Tag. Dass dies unter Beachtung gesunder Ernährungsempfeh-

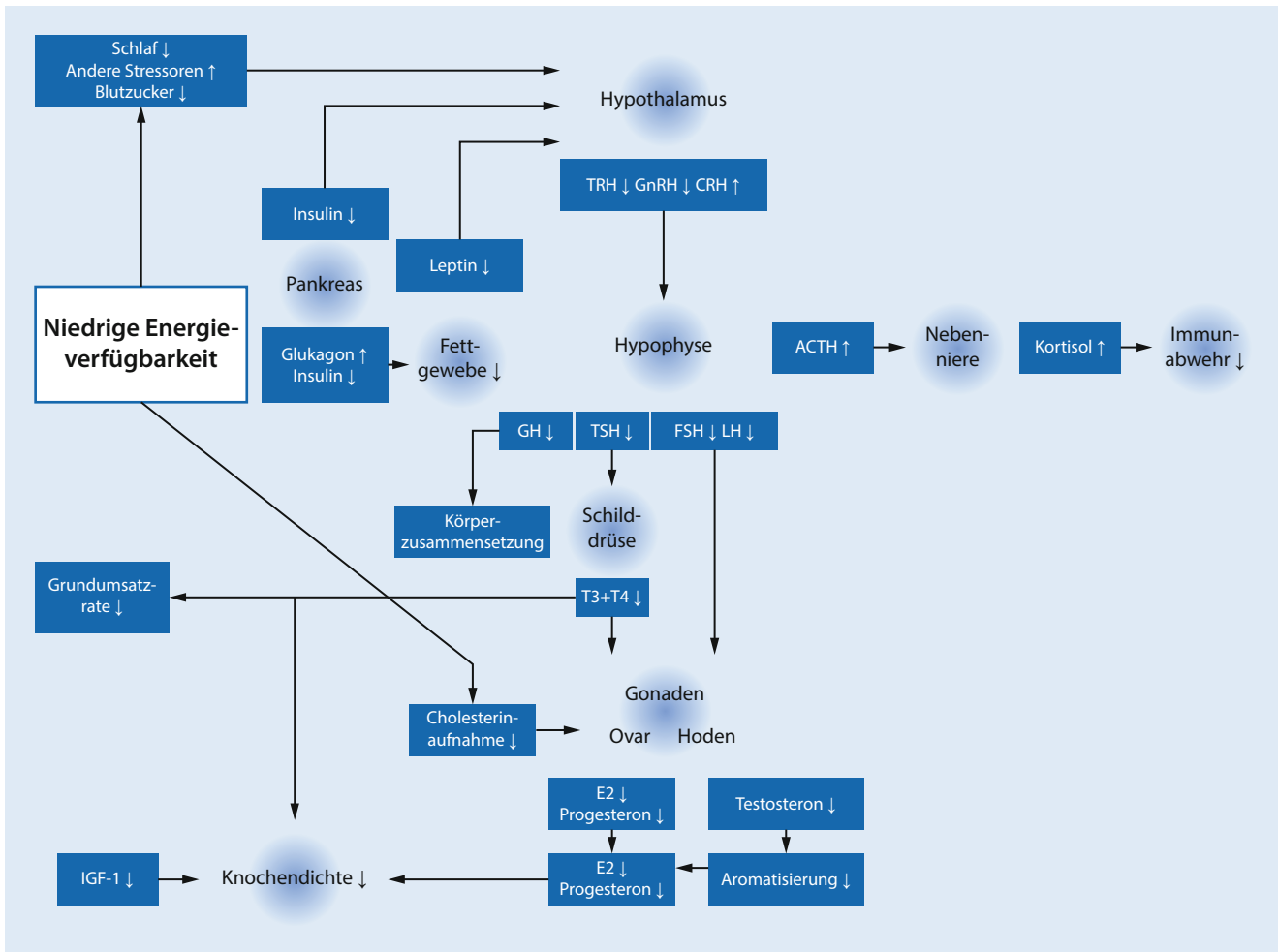


Abb. 1 ▲ Endokrine Folgen von niedriger Energieverfügbarkeit („low energy availability“, LEA; hypothalamische Releasing-Hormone: CRH „corticotropin-releasing hormone“, GnRH „gonadotropin-releasing hormone“, TRH „thyreotropin-releasing hormone“; Hypophysenhormone: TSH thyreoideastimulierendes Hormon, ACTH adrenokortikotropes Hormon, GH „growth hormone“, FSH follikelstimulierendes Hormon, LH luteinisierendes Hormon; Hormone der Zielorgane: E2 Estradiol, T3 Trijodthyronin, T4 Tetrajodthyronin, IGF-1 „insulin-like growth factor 1“). (Mod. nach [31, 32])

lungen und der zeitlichen Verfügbarkeit angesichts von Trainingsload, Regenerationszeiten, Reisen, Wettkämpfen etc. nicht einfach umzusetzen ist, ist offensichtlich.

Hinzu kommen noch differenziertere Betrachtungsweisen, welche beispielsweise den optimalen Zeitpunkt vor, während und nach intensiven Trainingseinheiten sowie die Zusammensetzung der Nahrung betreffen. Obwohl keine Studie bisher den Zusammenhang zwischen niedriger Kohlenhydratverfügbarkeit und der Knochengesundheit untersucht hat, konnte gezeigt werden, dass ausreichende Kohlenhydratzufuhr den Knochenumsatz („turnover“) reduzieren kann, wohingegen eine protein-/fettgestützte kohlenhydratreduzierte Nahrungszusammensetzung wohl eher negative Einflüsse generiert [6–10].

Ebenso scheint der Zeitpunkt der Kohlenhydratzufuhr eine Rolle zu spielen, da eine Zufuhr während oder vor einer intensiven Trainingseinheit einen möglichen negativen Einfluss auf den Knochenstoffwechsel deutlicher vermindern kann als eine Zufuhr nach dem Training. Darüber hinaus führt eine unzureichende Kohlenhydratsubstitution vor oder während intensiver körperlicher Aktivität zu deutlichen, wenn auch kurzzeitigen Anstiegen des Kortisolspiegels. Zudem ist bei restriktivem Essverhalten häufig auch die Kalziumzufuhr zu gering. V.a. bei den Hallensportarten (Geräteturnen, Rhythmische Sportgymnastik, Eiskunstlauf) wird aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung Vitamin D vermindert gebildet, und

selbst das angebotene Kalzium wird daher unzureichend vom Körper aufgenommen.

Die aufgeführten Anmerkungen zu den unmittelbaren Wechselwirkungen zwischen Trainingsload, Energiezufuhr, Knochenstoffwechsel und endokrinologischen Faktoren sollen verdeutlichen, wie komplex die Überlegungen zu einer adäquaten Planung einer ausreichenden Energiezufuhr im Hochleistungssport sein können.

Erschwert werden solche sportphysiologischen Überlegungen durch sportartspezifische Rahmenbedingungen, welche ein niedriges Gewicht im Hochleistungssport erforderlich machen. Dies erfolgt nicht nur aus ästhetischen Gesichtspunkten wie beispielsweise bei Tänzerinnen oder Turnerinnen, sondern sowohl aus

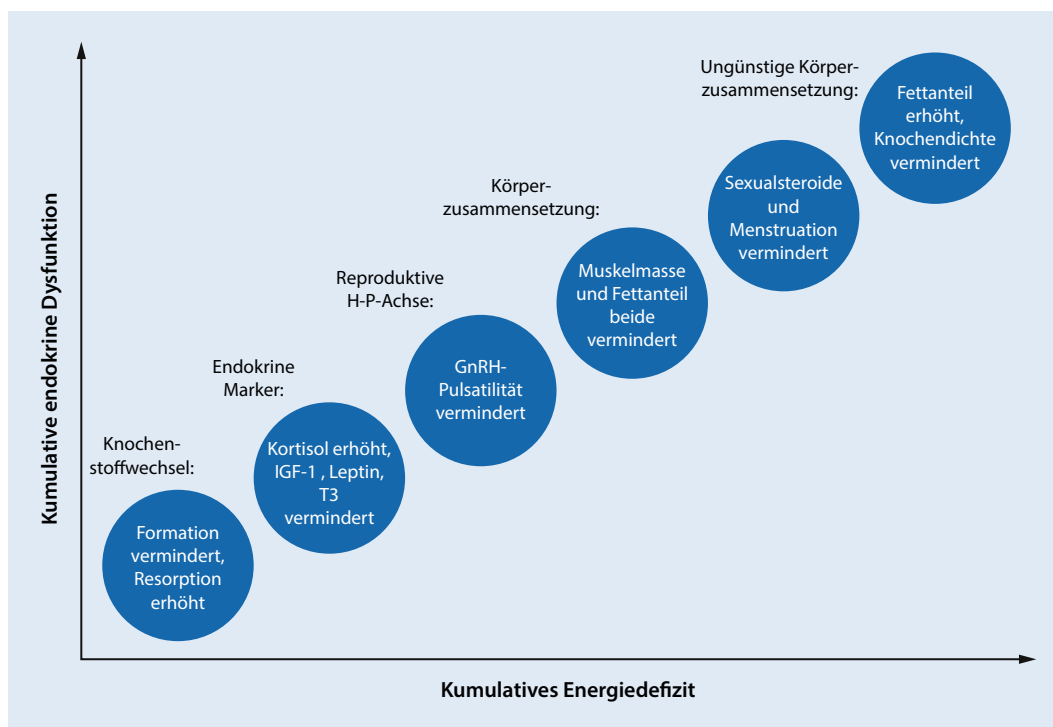


Abb. 2 ◀ Kumulatives Energiedefizit und endokrine Dysfunktion (*GnRH* „gonadotropin-releasing hormone“, *IGF-1* „insulin-like growth factor 1“, *T3* Trijodthyronin). (Mod. nach [31, 32])

Gründen der Notwendigkeit und Voraussetzung für den Sport (Eiskunstpaarlauf, Jockey) als auch zum Zweck, Gewichtsklassen bei Wettkämpfen zu entsprechen, die sportliche Performance zu optimieren und zugleich den gewichtsabhängigen muskuloskelettalen Einfluss zu minimieren (Läufer, Radrennfahrer).

Zyklusstörungen bei Athletinnen

Besonders interessant für Gynäkologen sind die Zyklusstörungen, die auch im Rahmen von FAT und RED-S auftreten, da sie oft der Grund für die gynäkologische Vorstellung sind.

Bei einer beispielhaften Befragung berichteten 7% in einer Gruppe von Hochschulsportlerinnen und sogar 22% in der Subgruppe der Cheerleaderinnen, Taucherinnen und Turnerinnen eine primäre Amenorrhö [11]. Eine sekundäre Amenorrhö wurde bei Hochleistungssportlerinnen noch häufiger diagnostiziert – beispielsweise bei 69% der Balletttänzerinnen [12] und 65% der Langstreckenläuferinnen [13]. Bei der sekundären Amenorrhö handelt es sich pathophysiologisch um eine funktionelle hypothalamische Amenorrhö: Durch Stress, sehr kontrolliertes Essverhalten („restrained eating“, Orthorexie) und eine erniedrigte EA, welche über

Neurotransmitter Auswirkungen auf den Hypothalamus hat, kann es zu Veränderungen in der Amplitude und Frequenz der GnRH-Pulse und in der Folge auch der LH-Sekretion kommen. Es entwickeln sich oft zunächst eine Anovulation mit konsekutiver Lutealphaseninsuffizienz (klinisches Zeichen: Vorschmierblutung vor der noch vorhandenen Periode) und bei stärkerer Ausprägung eine Oligomenorrhö.

Anovulation, Knochenstoffwechsel und der Risikofaktor sekundäre Amenorrhö

Im gesunden Organismus führt ein ausgeglichener Hormonstatus dazu, dass Östrogene die Kalziumresorption und den Einbau des Kalziums in den Knochen fördern und Progesteron diese Wirkung über unterschiedliche Mechanismen unterstützt [14].

In der Literatur zeigen sich unterschiedliche Zusammenhänge zwischen Knochenstoffwechsel und Anovulation. Anovulation im Rahmen eines polyzystischen Ovarialsyndroms (PCOS) ist durch die gleichzeitig oft endogen erhöhten Androgene (mit osteoanaboler Wirkung) möglicherweise weniger knochenschädlich, andererseits gibt es Hinweise auf einen evtl. geringeren Knochenaufbau

durch zusätzliche chronische Inflammation [15].

Niethammer et al. zeigten 2015 an Frauen ohne PCOS, dass sich der Knochenstoffwechsel in der Lutealphase bei ovulatorischen Zyklen von anovulatorischen Zyklen unterscheidet. Anhand der Knochenumsatzmarker (alkalische Phosphatase, Pyridinolyd und „C-terminal crosslinks“) konnte eine reduzierte Knochenresorption in der Lutealphase von ovulatorischen Zyklen im Gegensatz zu anovulatorischen Zyklen nachgewiesen werden. Dieser Effekt wirkte sich auch auf den Folgezyklus aus [16]. Auch subklinische Ovulationsstörungen bei normalen Menstruationsabständen – die als Vorstufe von klinischer Oligomenorrhö und Amenorrhö auftreten – können zu einem negativen Einfluss auf den Knochenstoffwechsel führen [17].

Bei älteren, chronisch amenorrhöischen Athletinnen war ein einmal stattgehabter Verlust von Knochendichte auch nach 9 Jahren noch nachweisbar [18].

Nose-Ogura et al. berichteten unter 390 Athletinnen das Auftreten einer Stressfraktur bei 36 Teilnehmerinnen innerhalb der ersten 3 Monate nach Studieneinschluss. Bei Teenagern mit sekundärer Amenorrhö war das Risiko 12,9-fach erhöht, bei Mädchen mit niedriger Knochendichte 4,5-fach, wohingegen

ein erniedrigtes Körpergewicht allein das Risiko nur um 1,1 erhöhte [19].

» Stressfrakturen bei Leistungssportlerinnen sind eine häufige Pathologie

Auch andere Publikationen berichten vom Risiko einer Stressfraktur bei Vorliegen einer Komponente der FAT im Bereich von 15–20 %, bei Vorliegen von mehreren Komponenten steigt das Risiko auf 30–50 % [20]. Das Auftreten von Stressfrakturen bei Leistungssportlerinnen ist mit einer Lebenszeitprävalenz von bis zu 40 % eine häufige Pathologie [21].

Diagnostik

Hochleistungssportlerinnen unterziehen sich zu Saisonbeginn in der Regel kaderassoziierten oder vereinsassoziierten sportmedizinischen Untersuchungen. In größeren Vereinen oder Trainingsstützpunkten stehen oftmals ebenfalls ein oder mehrere Sportmediziner zur Verfügung. Dennoch liegt der Schwerpunkt dieser Screeninguntersuchungen überwiegend auf der kardiopulmonalen und orthopädischen Leistungsfähigkeit der Athletinnen. Die üblichen durchgeführten Laboruntersuchungen decken ernährungsmedizinische oder endokrinologische Parameter meist nicht ab. In einer 2018 während des Harvard Sports Medicine Meetings durchgeführten Untersuchung zur Awareness des RED-S gaben 76 % der Teilnehmer an, den Begriff der FAT zu kennen, jedoch kannten nur 29 % den Begriff des RED-S. Hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Ärzten, Physiotherapeuten und Sportwissenschaftlern gefunden [22].

Die Ausrichtung einer sportmedizinischen Untersuchung mit Fokus auf RED-S erfolgt oftmals erst bei Vorliegen rezidivierender Stressfrakturen, Gewichtsverlust in größerer Menge oder kurzem Zeitraum, psychischen Problemen wie Depression, Motivationsverlust oder bei Anzeichen für das Vorliegen einer Essstörung.

Eine höhere Awareness mit konsekutem Screening für vorliegende Risikofaktoren wäre angesichts der Bedeutung eines relativen Energiemangels unbedingt empfehlenswert.

Unter verschiedenen erhältlichen Fragebögen und Konzepten zur Erleichterung einer sicheren Diagnostik sticht besonders das RED-S Clinical Assessment Tool (RED-S CAT) des IOC hervor. In die Bewertung gehen u. a. Fragen zur Identifizierung einer Essstörung, zum Körperfettanteil, zum Ergebnis einer Knochendichtemessung („dual energy X-ray absorptiometry“, DXA), zu Zyklusgewohnheiten und zur Entwicklung des Körpergewichts ein. Aufgrund der Ergebnisse erfolgt eine Eingruppierung der Athletin nach dem Ampelsystem (grün = niedriges Risiko, gelb = moderates Risiko, rot = hohes Risiko) und erlaubt somit auch die Abgabe einer Empfehlung zur weiteren Ausübung des Leistungssports bei Wettkämpfen [21].

Knochendichtemessungen

Für die Beurteilung der Knochendichte stellt die DXA den Goldstandard dar. Liegt eine Amenorrhö über einen Zeitraum von mindestens 6 Monaten vor oder ist eine Essstörung oder eine längerfristig erniedrigte EA bekannt, empfiehlt es sich, eine DXA durchzuführen [23].

Die Interpretation der DXA ist altersabhängig: Studien bei sehr jungen Athletinnen haben – trotz Belastungen und zum Teil auch Frakturen – nur einen geringen Knochendichteabbau über die Zeit gefunden, da bis zum Alter von 25 bis 30 Jahren die Knochendichte der Altersgruppe insgesamt noch steigt.

Untersuchungen an älteren (> 30-jährigen) Athletinnen fanden bei Amenorrhö oder Oligo-/Amenorrhö häufig Knochendichteverluste in der Lendenwirbelsäule (LWS), für die Femurdichte waren die Ergebnisse weniger eindeutig [24].

Risikogruppen sind Leistungssportlerinnen mit folgenden Merkmalen:

- erniedrigte Östradiolwerte;
- Z. n. Stressfraktur oder hohes Frakturrisiko;
- Mangelernährung;
- Z-Score (Vergleich mit der gleichaltrigen Gruppe) $\leq -2,0$.

Bei Vorliegen eines erhöhten Risikos für weiteren, beschleunigten Knochenabbau (z. B. durch längere Immobilisierung oder Einnahme von knochenabbaufördernden Medikamenten) oder einer stark erniedrig-

ten BMD (T-Score: $-2,0$ bis $-2,5$) kann die Messung 1-malig nach 12 Monaten wiederholt werden, um die Dynamik der Veränderung zu erfassen. Üblich und ausreichend sind danach Abstände von 2 Jahren, da es sich beim Knochen um ein langsam aufbauendes Gewebe handelt; bei normaler Knochendichte genügen Kontrollabstände von 3 bis 5 Jahren.

Weitere Diagnostik

Der Fragebogen des IOC erfasst das RED-S erst in größerer Ausprägung und möglichen Endstadien der vorliegenden Pathophysiologien.

Eine frühe Diagnosestellung stellt nach wie vor eine Herausforderung dar und erfordert eine sensible und aufmerksame Evaluation der Athletinnen, insbesondere von jungen Athletinnen, durch ein erfahrenes multidisziplinäres Team in Ergänzung mit dem familiären Umfeld der Athletin.

Neben dem klinischen und psychologischen Zustand der Athletin können endokrinologische Parameter mit (u. U. auch mehrfacher) Bestimmung von Gonadotropinen, Schilddrüsenwerten, Vitamin D, Prolaktin und Testosteron sowie auch kardiovaskuläre Tests (hinsichtlich des Risiko für Bradykardien, Rhythmusstörungen etc.) notwendig sein.

Wichtigster Therapieansatz: Beseitigung des Energiedefizits

Die effektivste und wichtigste Therapie bei Vorliegen einer komplexen und schwerwiegenden Störung wie FAT oder RED-S stellt die Korrektur der LEA dar. Auch die in der Folge vorgestellten Ansätze können nur eine „Krückenfunktion“ erfüllen – solange die Ursache, die erniedrigte EA, bestehen bleibt, bestehen auch weitere langfristige negative Folgen für die Frau. Welche Möglichkeiten sich die Athletin vorstellen kann (Reduktion des Sportumfangs sowie/oder Erhöhung der Energiezufuhr in multidisziplinärem Approach), sollte individuell besprochen werden.

Angesichts des komplexen Zusammenspiels zwischen Energiezufuhr und körperlicher Aktivität ist die Ausbildung der Athletin selbst und ihres Umfelds hinsichtlich eines soliden sportwissenschaftlichen Wis-

sens elementar. Das durchschnittliche Alter der Athletinnen im Hochleistungssport ist in den letzten Jahren über alle Sportarten hinweg angestiegen, sodass die Vorstellung des autarken, sich selbst aufmerksam monitorierenden Sportlers, der Gesundheitsentscheidungen zum eigenen Vorteil und nicht zugunsten einer kurzzeitigen Performanceerhöhung trifft, zunehmend realistisch ist. Denn die Prävention sollte das vorherrschende Ziel sein und nicht erst die Therapie einer LEA kurzfristig wie auch langfristig.

» Die Ausbildung der Athletin und ihres Umfelds hinsichtlich eines soliden sportwissenschaftlichen Wissens ist elementar

Für die besonders vulnerable Gruppe der jugendlichen Athletinnen ist ein Umfeld aus Trainern, Sportwissenschaftlern, Ärzten und ggf. Ernährungswissenschaftlern in enger Ankopplung an das familiäre Umfeld elementar für ihre sportliche Gesundheit und Zukunft. In einigen Sportvereinen mit größerer finanzieller Unterstützung oder in männlichen Profiteams im Ausdauersport (z. B. Radsport [Tour de France]) werden solche Konzepte teilweise umgesetzt, für die breite Mehrheit der Hochleistungssportler sind sie aber meist nicht verfügbar [25].

Weitere präventive Ansätze für die Knochengesundheit

Der Fokus für ausreichenden Knochenstoffwechsel liegt auf einer adäquaten Versorgung mit Kalzium (1500 mg/Tag) und Vitamin D3 (1500–2000 IE/Tag). Auf einen Zielblutspiegel von 40–80 ng/ml 25-Hydroxyvitamin D3 sollte dabei geachtet werden [26].

Bei der gynäkologischen Betreuung von Leistungssportlerinnen mit Amenorrhö ist der Therapieansatz abhängig von der Art der Amenorrhö. Liegt eine Oligo-/Amenorrhö mit niedrignormalen Estrogenwerten vor, wie sie oft im Rahmen des PCOS auftritt, kann durch periodische Gestagengabe (analog zum Gestagentest) eine Blutung ausgelöst werden. Die 14-tägige Einnahme und die nachfolgend zu erwartende Blutung können in Wettkampfpausen gelegt werden. Bei einer

sekundären Amenorrhö mit dauerhaft sehr niedrigen Estradiolspiegeln ist eine Hormonsubstitution bei erniedrigten BMD-Werten zusätzlich zur Basistherapie eine mögliche spezifische Osteoporoseprävention. Bei Einsatz von kombinierten oralen Kontrazeptiva (KOK) wurde ein BMD-Anstieg von bis zu 1%/Jahr an der LWS beobachtet, vergleichbar dem Anstieg bei spontanem Wiedereinsetzen der Menses [26, 27]. Der Einsatz einer KOK als Dauertherapie des Hormonmangels ist trotzdem kritisch zu sehen, da die Ursache der funktionellen hypothalamischen Amenorrhö nicht behoben wird. Zudem gibt es Beobachtungen, dass durch sehr frühe Einnahme einer KOK (Beginn innerhalb der ersten 3 Jahre nach der Menarche) eine Minderung der maximalen Knochendichte resultiert [28].

Ansätze, wie sie – derzeit empirisch verankert – in einigen Ausdauersportarten an Bedeutung gewinnen, unterstützen das aufmerksame Monitoring des eigenen Menstruationszyklus, kombiniert mit einer Ausrichtung der adaptierten Trainingspläne im Sinne von Belastungsmanagement und -effizienz auf den eigenen Zyklus. So können möglicherweise z. B. anabole Effekte (durch körpereigenes Testosteron) optimiert oder hohe Stressbelastungen mit trainingsbedingten Kortisolanstiegen reduziert werden [30].

Bei erlittenen Stressfrakturen mit stärkeren Schmerzen ($\geq 5/10$) können im Einzelfall Bisphosphonate kurzfristig helfen, die Schmerzen durch das entstehende Knochenödem zu vermindern. Hierbei ist zu beachten, dass Bisphosphonate durch ihre Einlagerung in den Knochen über den Zeitraum der aktiven Therapie hinauswirken [29]. Daher sind sie prämenopausal nicht zugelassen und vor Abschluss des Kinderwunsches zurückhaltend zu empfehlen. Auch andere Medikamentenklassen zur Prävention und Behandlung einer Osteoporose, wie z. B. der Antikörper Denosumab, der selektive Östrogenrezeptormodulator (SERM) Raloxifen oder rekombinantes Parathormon (Teriparatid), sind für prämenopausale Frauen nicht zugelassen (Ausnahmen bei glukokortikoidinduzierter Osteoporose), die Hormontherapie jedoch schon.

Fazit für die Praxis

- Chronische Anovulation kann den Knochenstoffwechsel beeinträchtigen. Sekundäre Amenorrhö ist ein Risikofaktor für Stressfrakturen bei Teenagersportlerinnen.
- Als FAT („female athlete triad“) wird das Vorliegen eines Energiedefizits, einer Amenorrhö sowie einer Osteoporose bezeichnet.
- Seit 2014 wurde die FAT zum relativen Energiedefizit im Sport (RED-S) erweitert. Dieses umfasst Einschränkungen verschiedener Körpersysteme (Stoffwechsel, Immunsystem, Proteinsynthese, kardiovaskuläre Gesundheit, Zyklusfunktion, Knochengesundheit) durch eine erniedrigte Energieverfügbarkeit. RED-S kann auch bei männlichen Athleten und Paraportlern vorliegen.
- Zur Erleichterung der Diagnostik wird das RED-S Clinical Assessment Tool (RED-S CAT) empfohlen.
- Verschiedenen Therapieansätzen liegt als wichtigster Schritt die Korrektur des Energiedefizits zugrunde, welche am Beginn der Krankheitskaskade einer FAT und/oder eines RED-S steht. Eine multidisziplinäre Vorgehensweise ist obligat.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Vanadin Seifert-Klauss

Gynäkologische Endokrinologie, Interdisziplinäres Osteoporose-Zentrum (IOZ) und Endometriose-Zentrum, Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München
Ismaninger Straße 22, 81675 München, Deutschland
endokrinologie@mri.tum.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. L.-M. Wallwiener, B. Kapfer und V. Seifert-Klauss geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autorinnen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten

Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E (1998) Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res* 13:500–507. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.3.500>
- Bass SL, Saxon L, Daly RM, Turner CH, Robling AG, Seeman E, Stuckey S (2002) The effect of mechanical loading on the size and shape of bone in pre-, peri-, and postpubertal girls: a study in tennis players. *J Bone Miner Res* 17:2274–2280. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.12.2274>
- Nordström A, Olsson T, Nordstrom P (2005) Bone gained from physical activity and lost through detraining: a longitudinal study in young males. *Osteoporos Int* 16:835–841. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1749-4>
- Ihle R, Loucks AB (2004) Dose-response relationships between energy availability and bone turnover in young exercising women. *J Bone Miner Res* 19(8):1231–1240
- Thong FS, McLean C, Graham TE (2000) Plasma leptin in female athletes: relationship with body fat, reproductive, nutritional, and endocrine factors. *J Appl Physiol* 88(6):2037–2044
- Papageorgiou M, Martin D, Colgan H, Cooper S, Greeves JP, Tang JCY et al (2018) Bone metabolic responses to low energy availability achieved by diet or exercise in active eumenorrheic women. *Bone* 114:181–188
- Bjarnason NH, Henriksen EE, Alexandersen P, Christgau S, Henriksen DB, Christiansen C (2002) Mechanism of circadian variation in bone resorption. *Bone* 30:307–313
- de Sousa MV, Pereira RM, Fukui R, Caparbo VF, da Silva ME (2014) Carbohydrate beverages attenuate bone resorption markers in elite runners. *Metabolism* 63(12):1536–1541
- Sale C, Varley I, Jones TW, James RM, Tang JC, Fraser WD et al (2015) Effect of carbohydrate feeding on the bone metabolic response to running. *J Appl Physiol* 119(7):824–830
- Bielohuby M, Matsuura M, Herbach N, Kienzle E, Slawik M, Hoeflich A et al (2010) Short-term exposure to low-carbohydrate, high-fat diets induces low bone mineral density and reduces bone formation in rats. *J Bone Miner Res* 25(2):275–284
- Beals KA, Manore MM (2002) Disorders of the female athlete triad among collegiate athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 12:281–293
- Abraham SF, Beumont PJ, Fraser IS et al (1982) Body weight, exercise and menstrual status among ballet dancers in training. *Br J Obstet Gynaecol* 89:507–510
- Dusek T (2001) Influence of high intensity training on menstrual cycle disorders in athletes. *Croat Med J* 42:79–82
- Seifert-Klauss V, Schmidmayr M, Hobmaier E et al (2012) Progesterone and bone: a closer link than previously realized. *Climacteric* 15(Suppl 1):26–31
- Kalyan S, Patel MS, Kingwell E, Côté HCF, Liu D, Prior JC (2017) Competing factors link to bone health in polycystic ovary syndrome: chronic low-grade inflammation takes a toll. *Sci Rep* 7(1):3432. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03685-x>
- Niethammer B, Körner C, Schmidmayr M, Luppa PB, Seifert-Klauss VR (2015) Non-reproductive effects of anovulation: bone metabolism in the luteal phase of premenopausal women differs between ovulatory and anovulatory cycles. *Geburtshilfe Frauenheilkd* 75(12):1250–1257. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1558298.PMID:26726266>
- Li D, Hitchcock CL, Barr SI et al (2014) Negative spinal bone mineral density changes and sub-clinical ovulatory disturbances-prospective data in healthy premenopausal women with regular menstrual cycles. *Epidemiol Rev* 36:137–147
- Keen AD, Drinkwater BL (1997) Irreversible bone loss in former amenorrheic athletes. *Osteoporos Int* 7:311–315
- Nose-Ogura S, Yoshino O, Dohi M et al (2019) Risk factors of stress fractures due to the female athlete triad: differences in teens and twenties. *Scand J Med Sci Sports* 29(10):1501–1510. <https://doi.org/10.1111/sms.13464>
- Abbott A, Bird ML, Wild E et al (2020) Part I: epidemiology and risk factors for stress fractures in female athletes. *Phys Sportsmed* 48(1):17–24. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1632158>
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke Letal (2015) The IOC relative energy deficiency in sport clinical assessment tool (RED-S CAT). *Br J Sports Med*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094559>
- Tenforde AS, Beauchesne AR, Borg-Stein J, Hollander K, McInnis K, Kotler D, Acherman KE (2020) Awareness and comfort treating the female athlete triad and relative energy deficiency in sport among healthcare providers. *Dtsch Z Sportmed* 71:76–80
- De Souza MJ, Nattiv A, Joy E et al (2014) 2014 Female Athlete Triad Coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med* 48:289
- Cobb KL, Bachrach LK, Sowers M et al (2007) The effect of oral contraceptives on bone mass and stress fractures in female runners. *Med Sci Sports Exerc* 39:1464–1473
- Keay N et al (2019) Clinical evaluation of education relating to nutrition and skeletal loading in competitive male road cyclists at risk of relative energy deficiency in sports (RED-S): 6-month randomised controlled trial. *BMJ Open Sport Exerc Med* 5:e523. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000523>
- Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA et al (2011) Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 96:1911–1930
- Warren MP, Miller KK, Olson WH et al (2005) Effects of an oral contraceptive (norgestimate/ethinyl estradiol) on bone mineral density in women with hypothalamic amenorrhea and osteopenia: an open-label extension of a double-blind, placebo-controlled study. *Contraception* 72:206–211
- Hartard M, Kleinmond C, Wiseman M et al (2007) Detrimental effect of oral contraceptives on parameters of bone mass and geometry in a cohort of 248 young women. *Bone* 40:444–450
- Papapoulos SE, Cremers SC (2007) Prolonged bisphosphonate release after treatment in children. *N Engl J Med* 356:1075–1076
- Constantini NW, Dubnov G, Lebrun CM (2005) The menstrual cycle and sport performance. *Clin Sports Med* 24(2):e51–e82. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.01.003> (xiii–xiv)
- Keay N, Francis G (2019) Infographic. Energy availability: concept, control and consequences in relative energy deficiency in sport (RED-S). *Br J Sports Med* 53(20):1310–1311. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100611>
- Elliott-Sale KJ, Tenforde AS, Parziale AL, Holtzman B, Ackerman KE (2018) Endocrine effects of relative energy deficiency in sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 28(4):335–349. <https://doi.org/10.1123/ijsem.2018-0127>

Bone health and high-performance sport

Physical activity at regular intervals enhances healthy bone metabolism and density; however, in some forms of sport female athletes have a higher prevalence of low bone density and increased rates of stress fractures. Often the cause is a relative energy deficit (RED) in combination with high mechanical load and intensive training. The occurrence of RED in sports (RED-S) is often underdiagnosed; therefore, a systematic multidisciplinary approach employing standardized tests, such as the relative energy deficit in sport clinical assessment tool (RED-S CAT) has been shown to be helpful. Treatment strategies primarily aim at correcting the negative energy balance of the patient as well as psychotherapeutic interventions. Furthermore, in severe cases a pharmaceutical treatment can be necessary for support as well as a balanced hormonal situation and to correct dysfunctional bone metabolism.

Keywords

Female athletes · Relative energy deficiency in sports · Anovulation · Menstrual cycle · Bone metabolism