Sporternährung im Kindesalter: Deckung des Stoffwechselbedarfs bei Wachstum und Sport

C.L. Zanker

Carnegie Faculty of Sport and Education, Leeds Metropolitan University, Leeds, England

Schlüsselwörter

Bewegung, Ernährung · Wachstum/Pubertät,
Sporternährung · Körperliche Leistung ·
Energiestoffwechsel

Zusammenfassung

Optimales Wachstum und eine optimale Entwicklung zählen zu den wichtigsten Zielen im Kindesalter. Für diese Entwicklungsprozesse bedarf es einer positiven Energie- und Stickstoffbilanz. Während sich regelmässige Bewegung positiv auf die Entwicklung im Kindesalter auswirkt, hat Leistungssport möglicherweise einen Abbau der Energie- und Stickstoffspeicher im Körper zur Folge, die dann jeweils über die Ernährung wieder aufgefüllt werden müssen. Sportlich aktive Jugendliche sind anfällig für Essstörungen, die eine Protein-Energie-Mangelernährung zur Folge haben können. Zu den Folgen einer negativen Energie- und Stickstoffbilanz zählen Wachstumsverzögerung, -retardation bzw. Stillstand des Längenwachstums und der Pubertätsentwicklung. Derzeit gibt es nur wenige Belege dafür, dass Sport sich direkt negativ auf das Wachstum und die Entwicklung auswirkt. Eine ausgewogene Ernährung ist bei allen körperlich aktiven Personen, unabhängig von deren Alter, für den Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Gesundheit von grösster Bedeutung. Nahrung liefert die chemischen Elemente, die nötig sind, um mittels Bewegung der Skelettmus-

kulatur Energie zu bilden, die Energiespeicher nach dem Sport wieder aufzufüllen und die geschädigten Muskeln zu regenerieren. Die Anforderungen an die Ernährung verändern sich bei körperlich aktiven Kindern mit zunehmender Körpergrösse und Pubertätsentwicklung. Der Reifestatus ist eine wichtige Determinante der metabolischen und physiologischen Reaktionen auf den Sport und wirkt sich somit sowohl auf die körperliche Leistungsfähigkeit als auch auf die Ernährungsbedürfnisse aus. Studien zum Energiestoffwechsel bei Kindern lassen darauf schliessen, dass Kinder für anhaltende Aktivitäten im aeroben Bereich zwar gut gewappnet, ihren Leistungen im anaeroben Bereich jedoch durch ihren Entwicklungsstand Grenzen gesetzt sind. Wichtig ist, dass die detaillierten und invasiven Forschungsmethoden, die bei der Ermittlung der Ernährungsbedürfnisse von sportlich aktiven Erwachsenen eingesetzt wurden, bei Kindern aus ethischen Gründen ausgeschlossen sind. Nichtsdestoweniger scheint es, dass sportlich aktive Kinder ähnlich wie sportlich aktive Erwachsene einen grösseren Bedarf an Energie, Kohlenhydraten, Protein und Wasser über die Ernährung decken müssen als vergleichbare nicht körperlich aktive Kinder. Dieser Beitrag begründet die Ernährungsbedürfnisse sportlich aktiver Kinder auf der Basis ihres für das Überleben, für ein gesundes Wachstum und für den Sport zu deckenden physiologischen und metabolischen Bedarfs.

Copyright © 2006 Nestec Ltd., Vevey/S. Karger AG, Basel

Einleitung

Die Kindheit ist eine Phase des signifikanten Wachstums und der signifikanten körperlichen Reifung. Diese Prozesse sind abhängig von regelmässiger körperlicher Bewegung und gesunder Ernährung. Während der Kindheit entwickelt sich ausserdem die Persönlichkeit und Talente treten zum Vorschein. Zu solchen Talenten zählen u.a. Sportlichkeit und Können in diversen Sportarten. Durch ein sorgfältig aufgebautes Training in Kombination mit einer ausgewogenen Ernährung kann die sportliche Leistung in der Kindheit gesteigert und der Körper auf den zukünftigen Wettkampfsport vorbereitet werden.

Vor der Pubertät ist die körperliche Leistungsfähigkeit bei Jungen und Mädchen annähernd gleich. Mit fortschreitender Pubertät jedoch zeigt sich eine ausgeprägte Divergenz zwischen den Geschlechtern [1, 2]. Sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen verstärkt der Sport die während der Pubertät normale Zunahme an Muskelgrösse und -kraft, aerober und anaerober Ausdauer, d.h. die Zunahme von Faktoren, von denen alle wichtige Determinanten für die körperliche Leistungsfähigkeit sind. Nichtsdestoweniger ist die in der Jugend stattfindende Entwicklung dieser physiologischen Merkmale und Leistungskennzeichen bei Mädchen viel weniger ausgeprägt als bei Jungen, und bei Mädchen können sich darüber hinaus signifikante Fettansammlungen hinderlich auf die sportliche Leistung auswirken [1, 3]. Leistungssport und ein niedriges Körpergewicht werden mit einer neuroendokrinen Dysfunktion, einer Suppression der Geschlechtsreife und diversen endokrinen Störungen in Verbindung gebracht, die das Gleichgewicht zwischen dem Aufbau und Abbau der Knochen, d.h. das Gleichgewicht des Knochenumsatzes, stören [4, 5]. Zu den Folgen dieser Störungen, die sich aktuell und zukünftig auf die Gesundheit auswirken können, zählen Wachstumshemmung, Verzögerung oder Stillstand der pubertären Entwicklung und eine unzureichende Knochenbildung [1, 3].

Wichtig ist, dass es inzwischen überzeugende Belege gibt, die dafür sprechen, dass endokrine Störungen und ein Ungleichgewicht des Knochenstoffwechsels bei sportlichen Kindern grossteils eher auf eine primäre Mangelernährung zurückzuführen sind, die durch den beim Sport entstehenden zusätzlichen Energieverbrauch noch verschlimmert wird, als auf den Sport selbst [6, 7]. Geht man von diesen Belegen aus, dann ist es von grösster Bedeutung, dass die Ernährung von Leistungssport treibenden Kindern sowohl den für das Training als auch den für ein normales Wachstum erforderlichen Nährstoffbe-

darf deckt. Dieser Beitrag begründet den Nährstoffbedarf sportlich aktiver Kinder auf der Basis des für das Überleben, für ein gesundes Wachstum und für den Sport zu deckenden physiologischen und metabolischen Bedarfs. Er fasst zusammen, wie die metabolischen und physiologischen Reaktionen auf die sportlichen Aktivitäten des Kindes durch das Wachstum und die Entwicklung beeinflusst werden, und geht darauf ein, wie diese Faktoren sich in der Summe auf die körperliche Leistung und die Ernährungsbedürfnisse auswirken.

Ethische Probleme bei der Forschung an sportlich aktiven Kindern

Betrachtet man die Ernährungsrichtlinien für sportlich aktive Kinder, so muss man einräumen, dass die Forschungsbasis zur Erstellung diesbezüglicher Empfehlungen begrenzt ist. Ganz anders sieht es bei der Sporternährung von Erwachsenen aus; hier stehen bezüglich der wichtigsten Merkmale umfassende Forschungsergebnisse zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Ergebnisse wurden Ernährungsrichtlinien für Männer und Frauen ausgearbeitet, die diverse Sportarten als Leistungssport betreiben [8]. Der verhältnismässige Mangel vergleichbarer Forschungsergebnisse für sportlich aktive Kinder ist in erster Linie auf die für die Datenerhebung geltenden ethischen und methodologischen Beschränkungen zurückzuführen, die im Laufe der letzten Jahre eher noch zugenommen haben [9, 10]. Die in Stoffwechselstudien an erwachsenen Sportlern eingesetzten Methoden sind zwar informativ, überschreiten jedoch häufig die Grenze dessen, was hinsichtlich der Anwendung bei Kindern als ethisch akzeptabel gilt.

Bei Erwachsenen hat die Messung der im Blut oder intramuskulär vorliegenden Brennstoffe oder ihrer Stoffwechselprodukte zu einem besseren Verständnis der während des Sports vorliegenden Umsatzraten von Energiesubstraten geführt. Dank stabiler Isotope konnte ferner die Kinetik der Substratmobilisierung und -verwendung untersucht werden. Diese Verfahren sind höchst aussagekräftig und für die detaillierte Untersuchung der Energiebilanz und des Energiestoffwechsels während des Sports von grösster Bedeutung. Sie sind jedoch darüber hinaus mit einem Grad an Risiko bzw. Beschwerden oder Schmerzen verbunden, die bei Kindern als unangemessen oder schwierig zu quantifizieren gelten. Forschungsarbeiten, die sich invasiver Verfahren bedienen, sind daher im Allgemeinen nur bei kranken Kindern erlaubt, bei denen die damit verbundenen Eingriffe im Rahmen ihrer

Behandlung durchgeführt werden [9, 10]. Die internationalen ethischen Richtlinien für die biomedizinische Forschung am Menschen [11] betonen, dass bei der Untersuchung diverser Stoffwechselaspekte an gesunden Kindern nur indirekte, nicht-invasive Methoden eingesetzt werden dürfen, die sich nicht störend auf den Lebensstil des Kindes auswirken. Diese Vorschriften schränken die Tiefe und die Genauigkeit der wissenschaftlichen Forschungsarbeiten, die an Kindern durchgeführt werden dürfen, deutlich ein, schützen aber gleichzeitig – und das ist äusserst wichtig – auch die Würde, die Gesundheit und das Wohlergehen des Kindes.

Aufstellen von Ernährungsrichtlinien für Sportler

Die wichtigsten Determinanten der durch die Sporternährung zu deckenden Bedürfnisse sind der «zusätzliche» über den Grundumsatz hinausgehende Energiebedarf einer Aktivität sowie der absolute Verbrauch diverser metabolischer Brennstoffe [12, 13]. Auch die Hydratation wirkt sich signifikant auf die körperliche Leistung und die Gesundheit aus, und über die Nahrung und die Getränke sollte ausreichend Flüssigkeit aufgenommen werden, um die über die Ausscheidung und das Schwitzen entstehenden Flüssigkeitsverluste auszugleichen. Die an Erwachsenen durchgeführten Forschungsarbeiten haben sich diversen Themen der Sporternährung gewidmet, von denen viele in dem gemeinsamen Positionspapier zu Sport und Ernährung (Joint Position Statement on Nutrition and Athletic Performance) der ADA (American Dietetic Association) und der DC (Dietitians of Canada) zusammengefasst wurden [8]. Dazu zählen:

(1) Die Energieansprüche und spezifischen Stoffwechselbeanspruchungen diverser Sportarten und Aktivitäten [14, 15].

(2) Die Regulierung des Energiestoffwechsels beim Muskeltraining mit unterschiedlichen Trainingsintensitäten und unterschiedlicher Dauer [16, 17].

(3) Die Geschlechtsunterschiede im Energiestoffwechsel beim Sport [18, 19].

(4) Die Rolle, die eine Veränderung der Ernährung, u.a. eine Veränderung des Zeitpunkts der Nahrungsaufnahme vor oder nach dem Sport und die Verwendung von Nahrungssupplementen, bei der Regulierung der sportlichen Leistung bzw. Verbesserung der Regeneration nach dem Sport spielt [20, 21].

Die für erwachsene Sportler etablierten Ernährungsrichtlinien konzentrieren sich schwerpunktmässig auf

eine Optimierung der sportlichen Leistung und den Erhalt der Gesundheit [8]. Bei Kindern weiss man diesbezüglich jedoch noch sehr wenig, und inwiefern die in Studien an Erwachsenen gewonnenen Erkenntnisse auch auf Kinder zutreffen, ist derzeit noch unklar. Das Hauptaugenmerk in Bezug auf die Ernährung sportlich aktiver Kinder liegt auf der für ein gesundes Wachstum und eine normale Entwicklung benötigten Energie und der Versorgung mit spezifischen Nährstoffen; das ergogene (d.h. das leistungssteigernde) Potenzial der Nahrung ist von sekundärer Bedeutung [3, 22]. Ferner ist die Physiologie bei Kindern weniger entwickelt als bei Erwachsenen. Dies gilt insbesondere für präpubertäre Kinder, die hinsichtlich Energieaufwand, Energiestoffwechsel und Wärmehaushalt anders auf sportliche Aktivitäten reagieren als Erwachsene [2, 22, 23]. Nichtsdestoweniger gibt es Belege, die dafür sprechen, dass bei älteren Jugendlichen die metabolischen und physiologischen Reaktionen auf diverse Aktivitäten mit den Reaktionen von Erwachsenen des gleichen Geschlechts vergleichbar sind [2, 22, 23].

Derzeit weiss man nur sehr wenig über die besonderen Ernährungsbedürfnisse sportlich aktiver Kinder in den unterschiedlichen chronologischen und biologischen Altersstufen. Folglich sind die Ernährungsrichtlinien für Leistungssportler im Kindesalter mehr als vage und beruhen auf den folgenden drei Hauptfaktoren:

(1) Dem bestehenden Wissen über den für ein gesundes Wachstum und eine gesunde Entwicklung im Kindesalter benötigten Nährstoffbedarf.

(2) Der Physiologie und körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern in einem bestimmten chronologischen und biologischen Alter.

(3) Den Anlehnungen an Daten aus bei Erwachsenen durchgeführten Stoffwechselstudien, die mit Sport und körperlichem Training in Zusammenhang standen.

Letztendlich sind der Gesundheitszustand, das Wohlbefinden, die lineare Wachstumsrate und die Entwicklung des Kindes sowie eine adäquate Gewichtszunahme über einen bestimmten Zeitraum die wichtigsten Indikatoren dafür, dass ein sportlich aktives Kind über seine Ernährung ausreichend mit Nährstoffen versorgt wird [1, 7, 22]. Man kann davon ausgehen, dass der für den Sport und ein normales Wachstum erforderliche Nährstoffbedarf eines sportlich aktiven Kindes über die Ernährung gedeckt ist, wenn die Gewichtszunahme und das Längenwachstum des Kindes mehrere Monate lang den normalen Perzentilen einer validierten Wachstumstabelle entsprechen und die pubertäre Entwicklung weder verzögert noch gestört ist [1, 7]. Bei Kindern äussert sich ein chronischer Energie- und Proteinmangel durch ein un-

zureichendes Längenwachstum und eine unzureichende Gewichtszunahme, die von den validierten Wachstumskurven abweichen, bzw. in einem laut Bewertung des Body-Mass-Index zu geringen Gewicht bezogen auf die Körpergrösse. Verhaltensveränderungen, u.a. Müdigkeit, Lethargie, Reizbarkeit und Apathie, oder körperliche Störungen, wie z.B. häufige Infekte und Weichteilverletzungen, können bei Leistungssportlern im Kindesalter ebenfalls auf eine Mangelernährung mit Dehydratation hinweisen.

Atmungsketten bei der tätigen Skelettmuskulatur

Die für die Muskeltätigkeit benötigte Energie stammt aus dem Abbaustoffwechsel (Katabolismus) des Adenosintriphosphats (ATP). In den Muskelzellen liegt nur eine begrenzte Menge an ATP vor, mit der die Muskeltätigkeit lediglich ein paar Sekunden lang aufrechterhalten werden kann. Um die Muskeltätigkeit aufrechtzuerhalten, muss das ATP daher genauso schnell wieder synthetisiert werden, wie es verbraucht wird [12, 13]. Während der Muskelarbeit bestimmen die diversen Atmungsketten der ATP-Synthese in den jeweiligen Muskeln, wie schnell und wie stark die gespeicherten und die im Blut zirkulierenden Brennstoffe über den Stoffwechsel abgebaut werden, und wirken sich dadurch auf den durch die Muskeltätigkeit verursachten Nährstoffbedarf aus [12, 13]. Bei Erwachsenen und Kindern sind jeweils drei Atmungsketten primär an der Tätigkeit der Skelettmuskulatur beteiligt:

(1) Die *Creatinkinase-Reaktion*, bei der Adenosindiphosphat über den anaeroben Abbau von Creatinphosphat (PCr) phosphoryliert wird. Diese Reaktion bietet kurzfristige Energieschübe (<10 s) bei maximaler Intensität der Muskeltätigkeit. Aufgrund der begrenzten Menge an gespeichertem Creatinphosphat kann die Creatinkinase-Reaktion die Muskulatur nur kurzfristig mit Energie versorgen.

(2) Die *anaerobe Glykolyse* bezieht sich auf den in der Muskulatur stattfindenden anaeroben Abbau von Glykogen zu Milchsäure. Diese Reaktion versorgt die Muskeln mit der für kurze Tätigkeiten (<1 min) von maximaler Intensität benötigten Energie. Auch dieses System kann die Muskulatur nur kurzfristig mit Energie versorgen, weil sich das Hauptnebenprodukt (die Milchsäure) zusammen mit anderen Stoffwechselabfallprodukten störend auf die Beziehung von Erregung und Kontraktion in der Skelettmuskulatur auswirkt.

(3) Die *aerobe Atmung*, bei der die Brennstoffe (hauptsächlich Glukose und Fettsäure) über den Zitronensäure-

zyklus und die oxidative Phosphorylierung zu Kohlendioxid und Wasser vollständig abgebaut werden. Die aerobe Atmung stellt die Energieversorgung über längere Zeiträume sicher, weil sie ohne Ansammlung giftiger Stoffwechselprodukte abläuft.

Sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern werden die beim Sport zum Einsatz kommenden Atmungsketten und somit auch die ATP-Abbauraten hauptsächlich über die Intensität der Muskeltätigkeit bestimmt [12, 16]. Auch die Dauer der sportlichen Aktivität hat einen gewissen Einfluss, da mit anhaltender Tätigkeit der Muskulatur die Glykogenspeicher in den Muskeln und in der Leber selektiv abgebaut und zunehmend andere Brennstoffe eingesetzt werden [17, 20]. Müdigkeit entsteht, wenn die Stärke der Muskelkontraktion abnimmt und eine bestimmte Intensität der Muskeltätigkeit nicht länger aufrechterhalten werden kann. Bei Erschöpfung ist der Punkt erreicht, an dem die Muskeltätigkeit nicht länger fortgesetzt werden kann [25]. Normalerweise hängen Müdigkeit und Erschöpfung mit einer Entleerung der Depots der Energiesubstrate und einer Ansammlung von Stoffwechselabfallprodukten, Dehydratation bzw. Hyperthermie zusammen [25].

Brennstoffe für die Energieproduktion

Gemäss der Arbeitsweise der oben angeführten Atmungsketten sind die intramuskulären Depots an PCr, Glykogen und Triglyceriden in Kombination mit Blutzucker und nicht-veresterten Fettsäuren die wichtigsten aus der Nahrung gewonnenen Brennstoffe für die im Rahmen der Muskeltätigkeit sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern ablaufende ATP-Synthese [16, 17]. Bei längerer sportlicher Aktivität sind das Glykogen und die aus den Kohlenhydraten der Nahrung gewonnene Glukose die Energiequellen, die dem Körper Grenzen setzen [17, 20]. Die Intensität und die Dauer der Bewegung bestimmen, wie schnell und wie stark diese Brennstoffe über den Stoffwechsel abgebaut werden [26, 27]. Zwar weisen Aminosäuren und Glukose einen identischen Energiegehalt pro Masseinheit auf, aber bei gesunden, wohlgenährten Personen tragen die Aminosäuren während des Sports nur einen geringen Teil zur ATP-Synthese bei, es sei denn, die sportliche Aktivität dauert sehr lange (>90 min) und ist intensiv (z.B. $>75\%$ der maximalen aeroben Leistung oder $\dot{V}O_{2\max}$) [17, 20].

Da ATP schnell und über längere Zeit synthetisiert werden muss, kann eine anhaltende und anstrengende sportliche Aktivität letztendlich eine Entleerung der Gly-

kogenspeicher in Muskeln und Leber zur Folge haben [20, 27]. Das in der Muskulatur enthaltene Glykogen und der Blutzucker leisten einen signifikanten Beitrag zu einer solchen Muskeltätigkeit. Bei Abbau der Glykogenspeicher im Laufe einer länger dauernden sportlichen Aktivität und einer in der Folge auftretenden Hypoglykämie stimuliert das Absinken der Plasmakonzentration des Insulin-Glukagon-Verhältnisses und der Anstieg der Plasmakortisolkonzentration die Muskelproteolyse [21, 28]. Diese Proteolyse führt zur Freisetzung freier Aminosäuren. Aktive Muskeln können zunehmende Mengen der verzweigten Aminosäureketten Leucin, Isoleucin und Valin extrahieren und oxidieren, während andere Aminosäuren möglicherweise transaminiert werden, um die Aminosäuren Alanin und Glutamin herzustellen, die für die Glukoneogenese in der Leber benötigt werden [28, 29]. Aminosäuren sind jedoch nicht der «ideale» Brennstoff für die ATP-Synthese, weil ein gesteigerter Stoffwechselabbau von Gewebeprotein das Risiko einer negativen Stickstoffbilanz birgt. Eine negative Stickstoffbilanz kann bei längerer Dauer die Gesundheit beeinträchtigen und unter Umständen zu Immunsuppression, Weichteilverletzungen und einer Störung der Knochenbildung führen [4, 21]. Da eine positive Stickstoffbilanz für das Wachstum äusserst wichtig ist, wirkt sich eine bewegungsinduzierte Entleerung der Glykogenspeicher bei Kindern wahrscheinlich schädlicher auf die Gesundheit aus als bei Erwachsenen.

Auch die Lipidmobilisierung und Fettsäureoxidation nehmen sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen mit der Dauer des Sports zu [26, 30]. Dieser Anstieg im Fettstoffwechsel wird durch viele verschiedene endokrine Reaktionen hervorgerufen, u.a. einen Anstieg der Plasmakonzentrationen von Kortisol, Katecholamin und Wachstumshormon und eine Abnahme der Plasmainsulinkonzentration [31, 32]. Interessanterweise weisen Studien, die sich der indirekten Kalorimetrie bedienen, um das Verhältnis von Sauerstoffaufnahme zu Kohlendioxidabgabe ($\dot{V}O_2/\dot{V}CO_2$) zu bewerten, darauf hin, dass die Fettsäureoxidation bei Kindern stärker zur Energieproduktion beiträgt als bei Erwachsenen, die mit der gleichen relativen Intensität Sport treiben (wobei diese Intensität als $\% \dot{V}O_{2max}$ ausgedrückt wird) [33–35]. Dieser Trend scheint insbesondere bei Jungen im Verlauf der Jugend abzunehmen [23, 36], was darauf schliessen lässt, dass die Geschlechtshormone, insbesondere die Androgene, eine Rolle bei der Regelung des Energiestoffwechsels spielen. Zu den Auswirkungen, die eine höhere Kapazität der Fettsäureoxidation auf die Ernährung präpubertärer Kinder hat, zählen u.a. die Speicherung von

Glykogen und Blutzucker, wodurch sich unter Umständen der Bedarf an Kohlenhydraten in der Nahrung senkt.

Physische und physiologische Determinanten der körperlichen Leistungsfähigkeit

Herausragende sportliche Leistungen sind abhängig von angeborenen physischen und physiologischen Merkmalen («guten Genen»), einem gut strukturierten Trainingsprogramm, das diese individuellen Merkmale fördert, und einer gesunden Ernährung, die eine optimale Anpassung an das Training erleichtert [37]. Zu den wichtigsten physischen und physiologischen Determinanten der sportlichen Leistung, die von der Ernährung beeinflusst werden, zählen Stärke, Geschwindigkeit, Energie und Ausdauer. Die Bedeutung dieser Merkmale für die sportliche Leistung ist von Sportart zu Sportart verschieden, wobei normalerweise nicht alle diese Merkmale bei einer bestimmten Sportart Attribute der Leistungsfähigkeit sind. Diese physischen und physiologischen Merkmale werden wie folgt definiert [37].

Stärke steht für die Fähigkeit, Kraft aufzubringen, und wird durch die Grösse der einzelnen Muskeln und Agonisten in Verbindung mit der Koordination der motorischen Einheiten dieser Muskeln bestimmt. Die Stärke ist eine Hauptdeterminante der *Energie*, die mit dem Produkt aus Muskelkraft und Kontraktionsgeschwindigkeit gleichzusetzen ist. Sportarten, die aussergewöhnlich viel Stärke und Energie erfordern, sind der Sprint (Laufen, Schwimmen, Radfahren), Sprung- und Wurfdisziplinen sowie Gewichtheben. Auch bei Turnen, Ringen, Racketsport und vielen Mannschaftssportarten werden Bewegungen mit hohem Energieaufwand ausgeübt. Höchstleistungen erfordern in den meisten Sportarten ein hohes Mass an Stärke (oder Energie) im Verhältnis zur Körpermasse. Besonders wichtig ist dies bei Sportarten, in denen der Körper gegen die Schwerkraft arbeiten muss (z.B. Laufen, Sprungdisziplinen, Turnen etc.). Bei Sportarten, bei denen das Körpergewicht gestützt wird, wie z.B. Schwimmen und Radfahren, sind dagegen die absolute Stärke und Energie wichtiger für die sportliche Leistung. Bei diesen Sportarten wird die Muskeltätigkeit hauptsächlich durch die Energie aufrechterhalten, die über den anaeroben Abbau der in den Muskeln vorliegenden Kreatinphosphat- und Glykogenspeicher generiert wird. Diese anaeroben Atmungsketten ermöglichen eine substantiell höhere Rate der ATP-Synthese als die aerobe Atmung.

Abb. 1. Grösse, Gewicht und Knochenmineraldichte (BMD) einer bestimmten Körperregion bei männlichen und weiblichen Leistungsturnern im Kindesalter (6 bis 8 Jahre), ausgedrückt als standardisierte Z-Werte bezogen auf die Durchschnittswerte gleich grosser untrainierter (Kontroll-) Kinder des gleichen Geschlechts. □ = Mädchen; ▨ = Jungen. Beide Gruppen von Turnern waren für ihr Alter klein und leicht, wiesen aber tendenziell eine höhere Knochenmineraldichte auf als die Kontrollpersonen. Die weiblichen Turner trainierten seit 3–4 Jahren regelmässig 8 bis 10 Stunden pro Woche. Die männlichen Turner trainierten seit 1–2 Jahren regelmässig 4 bis 6 Stunden pro Woche. Signifikanz Turner vs. Kontrollpersonen des gleichen Geschlechts: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Aus Zanker et al. [39].

Die *Ausdauer* steht für die Fähigkeit, über längere Dauer Sport zu treiben, ohne zu ermüden. Ausschlaggebend für die Ausdauer sind die kardiorespiratorische Fitness in Verbindung mit der Fähigkeit der Muskulatur, während des Sports Sauerstoff zu extrahieren und in der aeroben Atmung zu verwerten. Zu den Ausdauersportarten zählen Laufen, Schwimmen und Fahrradfahren über Langstrecken, Rudern und Langlauf. Racket-Sport und Mannschaftsportarten erfordern neben einer gewissen Kraft und Energie ebenfalls ein bestimmtes Mass an kardiorespiratorischer Ausdauer und Muskelausdauer. Von allen Sportarten wird bei den Ausdauersportarten und dem damit verbundenen Training die meiste Energie umgesetzt. Zwar ist die Energieumsatzrate bei Ausdauersportarten niedriger als bei Kraftsportarten, aber insgesamt wird während des Ausdauersports mehr Energie umgesetzt, da der Sport über eine längere Dauer betrieben wird. Die Ausdauersportarten beziehen ihre Energie in erster Linie über die aerobe Atmung, die sich, je nach Intensität und Dauer der sportlichen Aktivität sowie Grösse der Glykogenspeicher in den aktiven Muskeln, diverser Quellen metabolischer Brennstoffe bedient.

Die Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit mit Wachstum und Reifung

Untersucht man die Ernährungsbedürfnisse von Leistungssportlern im Kindesalter, dann muss man auch jene Faktoren berücksichtigen, die sich auf die individuellen Energie- und Nährstoffbedürfnisse eines Kindes auswir-

ken. Bei Kindern im Wachstum zählen zu diesen Faktoren die Gesundheit im Allgemeinen, die Körpergrösse, die Körpermasse, der Reifestatus und die Bewegung [1, 22, 23]. Letztere erzeugt einen spezifischen Nährstoffbedarf, der sich auf die Bereitstellung der für die Muskeltätigkeit benötigten Brennstoffe und die Förderung einer anabolen Umgebung zur Erleichterung der Regeneration nach dem Sport bezieht. Körpergrösse und Entwicklungsstand sind fundamentale Determinanten der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern, und eine Zunahme der Muskelstärke und aeroben Energie wirkt sich im Laufe der kindlichen Entwicklung, insbesondere in der Pubertät, auf die sportliche Leistungsfähigkeit aus [1, 22, 23].

Bei kleineren Kindern (<8 Jahren) steigert spontanes Bewegungsverhalten die mit dem Wachstum einhergehende Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit. Laufen, Springen und akrobatische Kunststücke sind natürliche Bestandteile des kindlichen Spiels, welche die Koordination, die motorischen Fähigkeiten, die Muskelstärke und die aerobe Energie der Kinder steigern [38]. Bei ausreichender Ernährung scheinen diese Aktivitäten darüber hinaus auch eine Zunahme der vor der Pubertät angelegten Muskeln und Knochenmasse hervorzurufen [39]. Abbildung 1 zeigt die Unterschiede in der Knochen-dichte von Leistungssportlern und normal aktiven Kindern im Alter zwischen 7 und 8 Jahren und die anscheinend positiven Auswirkungen der mit mechanischen und intensiven Belastungen einhergehenden Aktivitäten auf die Knochenmineraldichte bestimmter Körperregionen. Leistungssport ist in diesen frühen Entwicklungs-

stufen ungewöhnlich und normalerweise auch nicht anzuraten, da das sich im Wachstum befindliche Muskel-Skelett-System anfällig für überlastungsbedingte Verletzungen ist [2]. Bei Sportarten wie Turnen und Ballet ist ein kontrolliertes Training jedoch normal und zur Förderung und Erhaltung der Beweglichkeit von grösster Bedeutung, da diese anderenfalls mit dem Wachstum abnehmen würde [2, 40].

Mit zunehmendem Alter und zunehmender Reife, insbesondere nach Einsetzen der Pubertät, können Kinder ein härteres und strukturierteres Training verkraften. Vor der Pubertät sind zwar durch die Nerven vermittelte Kraftzunahmen möglich, aber der Skelettmuskulatur fehlt, unabhängig von der Ernährung, die Fähigkeit zur signifikanten Hypertrophie [1, 23]. Erst mit Einsetzen der Pubertät ermöglichen plötzliche Anstiege der im Blut zirkulierenden Geschlechtshormone, Wachstumshormone und insulinähnlichen Wachstumsfaktoren hypertrophe Reaktionen der Skelettmuskulatur auf Tätigkeiten, die Kraft und Energie erfordern. Die Muskelkraft pro Einheit der Muskelquerschnittsfläche ist bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen beider Geschlechter vergleichbar. Die Fähigkeit zur bewegungsinduzierten Zunahme an Muskelmasse wird von den in unterschiedlichen Entwicklungsstadien bei Männern und Frauen vorliegenden Hormonen bestimmt [1, 23]. Geschlechtshormone, insbesondere Androgene, fördern unter Umständen auch die anaerobe Glykolyse in der Skelettmuskulatur, da bei Männern die anaerobe Kapazität und Laktatproduktion beträchtlich grösser ist als bei präpubertären Jungen, Mädchen oder Frauen [23, 36]. Es wird angenommen, dass Androgene die Enzyme induzieren, welche die anaerobe Glykolyse kontrollieren und die Kapazität für die Glykogenspeicherung verbessern [23, 36].

Wird die maximale Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_{2\max}$ im Verhältnis zur Körpermasse ausgedrückt, dann ist sie unabhängig vom Entwicklungsstand, absolut betrachtet jedoch ist der Wert bei grossen Personen (z.B. bei Erwachsenen im Vergleich zu Kindern) höher [23, 41]. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, dass eine der Hauptdeterminanten des $\dot{V}O_{2\max}$ die maximale Herzleistung ist und das maximale Schlagvolumen bei gesunden Personen mit der Herzgrösse zusammenhängt. $\dot{V}O_{2\max}$ hängt ferner von der Kapazität einer grossen Masse der tätigen Muskeln ab, den im Blut enthaltenen Sauerstoff zu extrahieren und bei der aeroben Atmung zu verwerten. Eine adäquate Lungenfunktion und die Hämoglobinkonzentration im Blut wirken sich unweigerlich auf die Sauerstofftransportkapazität aus [42, 43]. Bei Kindern ist die

Sauerstoffverwertung beim Gehen und Laufen nicht so effizient und wirtschaftlich wie bei Erwachsenen und älteren Jugendlichen [2, 22]. Dies zeigt sich z.B. anhand von Messungen des submaximalen Sauerstoffverbrauchs ($\dot{V}O_2$), der pro Körpermasseneinheit angegeben wird und bei Kindern, wenn sie eine bestimmte Aktivität ausüben, höher ist als bei Erwachsenen.

Es wird angenommen, die nicht ganz so effiziente Sauerstoffverwertung bei kleinen Kindern sei auf eine schlechtere Koordination der Agonisten/Antagonisten-Muskelgruppen zurückzuführen, die eine Energieverschwendung zur Folge hat [2, 22]. Geht man davon aus, dass $\dot{V}O_2$ während eines submaximalen Ausdauertrainings proportional zum Energieumsatz ist, dann unterschätzen die Tabellen, die den Energieumsatz diverser Sportarten auflisten und auf der Erwachsenenforschung basieren [14], in der Regel den Energieumsatz von Kindern, die identische Tätigkeiten ausführen, selbst wenn die Tabellen angepasst wurden, um den Unterschieden bei Körpergrösse und Körpergewicht Rechnung zu tragen. Schätzungen gehen davon aus, dass präpubertäre Kinder und Jugendliche für eine bestimmte Tätigkeit 20–25% bzw. 10–15% mehr Energie verbrauchen als Erwachsene [2, 22].

Der wichtigste Schluss, den man hinsichtlich der Wirkungen von Sport bei präpubertären Kindern ziehen kann, ist, dass ein bestimmtes Training möglicherweise die Entwicklung von motorischen Fähigkeiten, Muskelstärke und aerober Energie verbessert. Im Gegensatz zu Jugendlichen und Erwachsenen jedoch ist das Potenzial, die aerobe und anaerobe Energie mittels eines spezifischen Trainings zu steigern, bei kleineren Kindern verhältnismässig begrenzt [2, 22]. Eine Änderung der Nährstoffzufuhr (z.B. eine höhere Eiweisszufuhr als eigentlich für eine positive Stickstoffbilanz nötig ist), kann diese Leistungsmerkmale vor der Pubertät nicht verbessern [22, 24]. Jungen legen während der Pubertät beträchtlich mehr an Gesamtkörperstärke, Muskelkraft und Ausdauer zu als Mädchen, und zwar sowohl absolut gesehen als auch im Verhältnis zur Körpermasse [2, 22]. Diese Unterschiede zwischen den Geschlechtern erklären sich durch Unterschiede hinsichtlich Körpergrösse, Körperzusammensetzung und Stoffwechsel bei Jugendlichen und Erwachsenen. Während Androgene (insbesondere das Testosteron) bei Jungen im Jugendalter das Gesamtkörperwachstum und die Zunahme der Muskelmagermasse erhöhen, steigern Östrogene bei Mädchen im Jugendalter die Fettablagerung und das Verhältnis von fettem zu magerem Gewebe. Ferner haben Östrogene signifikant geringere anabole Wirkungen als Androgene

[2, 22]. Die zwischen den Geschlechtern unterschiedliche Entwicklung der Attribute der körperlichen Leistungsfähigkeit in der Jugend erklärt die hinreichend nachgewiesenen Unterschiede bezüglich des sportlichen Leistungspotenzials erwachsener Männer und Frauen [2, 43].

Die Rolle der Ernährung und Faktoren, die sich in den grundlegenden Ernährungsbedürfnissen für Erwachsene und Kinder niederschlagen

Die Ernährung bietet ein für den Stoffwechsel und den Erhalt der Homöostase absolut erforderliches Energie-substrat. Die Energiebilanz, die das Verhältnis von Energiezufuhr und Energieverbrauch darstellt, ist für die Gesundheit und die körperliche Leistungsfähigkeit von wesentlicher Bedeutung. Bei Erwachsenen spiegelt der aus der Nahrung zu deckende Energiebedarf den Energieaufwand des Basalstoffwechsels, die thermische Wirkung der Nahrung, die Wärmeregulation und die Bewegung wider [8, 13]. Letztere umfasst die alltäglichen Routineaktivitäten ebenso wie strukturierten Sport und ein strukturiertes Training. Die Bewegung wirkt sich stark auf den Energieumsatz aus und Sport, bei dem eine grosse Muskelmasse aktiviert wird, erhöht den Ruheumsatz stark. So kann sich der Ruheumsatz beispielsweise bei Erwachsenen bei anhaltender aerober Aktivität (>5 min) um das 10- bis 20-fache erhöhen, wohingegen bei einer kurzfristigen (<1 min) anaeroben Aktivität mit maximaler Intensität eine um das 40- bis 50-fache Erhöhung des Ruheumsatzes möglich ist [13]. Folglich kann ein wiederholtes Belastungstraining zur Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit ein Energiedefizit hervorrufen, ausser es erfolgt ein Ausgleich mittels adäquater Energiezufuhr über die Nahrung.

Kinder benötigen Energie für die gleichen Funktionen wie Erwachsene; Kinder brauchen jedoch über den Bedarf des Ruheumsatzes hinaus zusätzlich Energie für das Wachstum und die Entwicklung. Das Wachstum hängt von der Nettosynthese und Ablagerung des Gewebes ab und ist daher eine anaboler Prozess, bei dem die aus der Nahrung gewonnene chemische Energie in die strukturellen Komponenten der Organe integriert wird. Da der Gewebeumsatz bei Kindern beträchtlich höher ist als bei Erwachsenen, haben Kinder auch einen höheren Energieumsatz pro Körpermasseneinheit [22, 44]. Für ein normales Wachstum und eine normale Entwicklung bedarf es bei Kindern ferner einer positiven Stickstoffbilanz. Um dies zu gewährleisten, muss die Stickstoffzufuhr (aus eiweisshaltigen Nahrungsmitteln) den

Stickstoffverbrauch (im Rahmen der Synthese und Energieproduktion) übersteigen. Eine negative Energiebilanz führt unweigerlich zu einer negativen Stickstoffbilanz, da das Eiweiss zur Bildung von Aminosäuren, die als Brennstoff für den Stoffwechsel dienen, abgebaut wird [21, 45]. Die Folge dieses Proteinabbaus ist sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern ein Gewichtsverlust, wobei sowohl mageres als auch fettes Gewebe betroffen ist. Bei einem anhaltenden Energiedefizit und einer anhaltend negativen Stickstoffbilanz kann es bei Kindern jedoch zusätzlich zur Wachstumsverzögerung kommen, die eine für das chronologische Alter zu geringe Körpergrösse zur Folge hat. Kennzeichnend für eine solche ernährungsbedingte Wachstumschamung sind ein Rückgang der linearen Wachstumsrate bei gleichzeitiger unzureichender Gewichtszunahme sowie ein verzögerter oder verspäteter Pubertätsverlauf bis hin zum Pubertätsstillstand [7, 40].

In der Jugend führt eine Unterversorgung mit Nährstoffen, insbesondere eine Energie- und Proteinunterversorgung, zu einer katabolen Stoffwechsellaage, welche die für ein normales Wachstum und eine normale Reifung erforderlichen anabolen Vorgänge behindert. Während des in der Pubertät stattfindenden Wachstumsschubs ist der Bedarf an Energie und Eiweiss aus der Nahrung am höchsten, um so eine positive Stickstoffbilanz zu gewährleisten [22, 24]. In dieser Entwicklungsphase reagiert der Hypothalamus, insbesondere bei Mädchen, besonders empfindlich auf einen akuten oder chronischen Energiemangel, Hypoglykämie und reduzierte Fettspeicher. Diese Ernährungsstörungen behindern die normalen täglichen Schwankungen des Insulin-, 3,5,3'-Trijodthyronin-, Cortisol- und Leptin-Blutspiegels [4, 46]. Bei letzterem vermutet man, dass er den Hypothalamus über die Verfügbarkeit von Energie informiert und indirekt die Funktion der Hirnanhangsdrüse und die Aktivitäten der peripheren endokrinen Drüsen reguliert [4, 47]. Die schädlichen Folgen eines Energie- und Proteinmangels auf das Wachstum und die pubertäre Entwicklung können einer neuroendokrinen Dysfunktion zugeschrieben werden, die eine ausgedehnte Störung der Hormonsynthese und des Stoffwechsels mit weitreichenden Konsequenzen zur Folge hat [4, 7]. Die daraus resultierende Unterdrückung der Funktion der Keimdrüsen in Verbindung mit Änderungen des Stoffwechsels oder peripheren Wirkungen des Schilddrüsen- und des Wachstumshormons erweisen sich als besonders schädlich für den Skelettzustand. Bei gesunden Kindern entstehen 30–40% der im Erwachsenenalter vorliegenden Knochenmasse normalerweise während der Pubertät unter dem anabolen Einfluss von

Geschlechtshormonen, insulinähnlichen Wachstumsfaktoren und Leptin [48, 49]. Geht ein Energiemangel mit einem Mangel an diesen Hormonen einher, so wirkt sich dies störend auf den Knochenaufbau aus. Die Folgen sind eine geringe Knochenmasse und eine fragile Knochenstruktur im Erwachsenenalter [4, 49].

Durch Ernährungsrehabilitation kommt es bei mangelernährten Kindern normalerweise zur Gewichtszunahme und somit zu einem Aufholwachstum und zur Vollendung der Pubertätsentwicklung [7, 40]. Eine über viele Jahre hinweg anhaltende Mangelernährung kann jedoch zu einer permanenten Störung des normalen Knochenwachstums und des Mineralaufbaus führen, so dass die genetisch bedingte Körpergrösse im Erwachsenenalter nie erreicht wird. Unter diesen Umständen wird die Pubertätsentwicklung nicht abgeschlossen, und die Reproduktionsfähigkeit geht verloren [7, 40]. Entsteht die Mangelernährung um das Alter der erwarteten Pubertät, so kommt es zu einer Verzögerung oder Hemmung des pubertären Wachstumsschubs und der nachfolgenden Reifung [7, 40]. Je stärker und je länger der Energieentzug in der Kindheit, desto schlechter die Prognose, zukünftig ein normales Wachstum und eine normale Entwicklung zu erreichen. Wenn es also um Ernährungsrichtlinien für Leistungssportler im Kindesalter geht, so muss man unbedingt bedenken, dass die Ernährung dieser Kinder nicht nur den durch das Training hervorgerufenen Energiebedarf, sondern auch die spezifischen Nährstoffbedürfnisse des Wachstums und der Entwicklung decken muss.

Nichtsdestoweniger muss man beachten, dass manche Kinder aufgrund ihrer genetisch bedingten kleinen Statur und des späten Einsetzens ihrer Pubertät in bestimmten Sportarten brillieren (z.B. Turnen und Tanz). Die Eltern und Geschwister dieser Kinder sind häufig ebenfalls klein, und bei den Kindern liegt eine konstitutionelle Wachstumsverzögerung (d.h. eine angeborenen Verzögerung des linearen Wachstums und der Gewichtszunahme) vor. Trotzdem sind diese Kinder unter Umständen ausreichend ernährt und auch ansonsten gesund [7, 40]. Derzeit liegen nur begrenzt Hinweise vor, die darauf schliessen lassen, dass die bei diversen Kohorten von Leistungssportlern im Kindesalter beobachteten Wachstums- und Entwicklungsverzögerungen direkt dem Sporttraining per se zuzuschreiben sind. Man geht eher davon aus, dass Wachstum und Entwicklung in der Regel innerhalb der normalen Grenzen verlaufen, wenn der durch das Training verursachte Energiebedarf und der spezifische Nährstoffbedarf über eine ausreichende Ernährung ausgeglichen werden [3, 50].

Essstörung bei Leistungssportlern im Kindesalter

Bei körperlich aktiven Kindern in Industrienationen wird eine primäre Mangelernährung in der Regel eher durch eine bewusste, selbst auferlegte Restriktion der Nahrungsaufnahme als durch eine begrenzte Nahrungsverfügbarkeit verursacht. Der Begriff «Essstörung» beschreibt ein unorthodoxes Essverhaltensmuster, das möglicherweise eine grössere oder kleinere Zahl der formalen diagnostischen Kriterien einer klinischen Essstörung, wie z.B. Anorexie oder Bulimia nervosa, erfüllt [51, 52]. Obwohl eine Essstörung normalerweise psychogenen Ursprungs ist, wird sie durch Mangelernährung und der mit ihr einhergehenden Stoffwechseladaptation, die sich negativ auf die kognitiven Funktionen auswirken, möglicherweise aufrechterhalten. Klinische Essstörungen treten häufiger bei Mädchen als bei Jungen auf und entwickeln sich für gewöhnlich nach Einsetzen der Pubertät, wenn ein starker Anstieg der Konzentrationen der Geschlechtshormone im Blut zu schnellen Änderungen der Körperform und des Verhältnisses von fetter zu magerer Körpermasse sowie zu emotionaler Instabilität führt. Klinische Essstörungen sind ausserdem durch Essrituale gekennzeichnet und gehen häufig mit anderen obsessiv-zwanghaften Charakterzügen, wie z.B. Sportsucht, einher [51, 52].

Die restriktive Nahrungsaufnahme und exzessives, aber sinnloses Training erweisen sich als besonders schädlich für das Wachstum im Jugendalter, die Entwicklung und die zukünftige Gesundheit. Manche Berichte sprechen davon, dass ein gezügeltes Essverhalten (restriktive Nahrungsaufnahme) bei bestimmten Sportler-Kohorten (z.B. bei Langstreckenläufern, Turnern, Tänzern und Ringern) häufiger vorkommt als bei normalen sportlich aktiven Personen [51, 52]. Eine Erklärung hierfür könnte der auf diesen Sportlern lastende Druck sein, zum Zwecke der Leistungsverbesserung bzw. aus ästhetischen Gründen schlank zu werden und zu bleiben. Andererseits ist es jedoch auch möglich, dass Jugendliche mit einer zwanghaften oder auf andere Weise verletzlichen Persönlichkeit sich besonders für diese Sportarten interessieren. Diesen Jugendlichen bietet ein strukturiertes Sporttraining möglicherweise die erforderliche Routine und die benötigten Rituale, und in den Sportvereinen und Fitnesscentern finden sie eine Umgebung, in der eine schlanke Figur und Sport erwartet und akzeptiert werden [51, 52].

Bei Leistungssportlern im Wachstum kann Nährstoffmangel auch einfach aus einer Unwissenheit heraus entstehen oder weil die Bedeutung, welche die Ernäh-

Tabelle 1. Die wichtigsten Faktoren, die sich beim Sport auf den Energieumsatz und den Energiestoffwechsel auswirken

Die Intensität und Dauer des Trainings, die sich auf die Auslastung der aeroben bzw. anaeroben Energiesysteme und somit auf die «Wahl» des metabolischen Brennstoffs auswirken [26, 27]

Die Trainingshäufigkeit, die sich auf die Fähigkeit, die Energiespeicher zwischen den mehrmaligen Trainingseinheiten wieder aufzufüllen, auswirkt [17, 20]

Die Grösse der hauptsächlich Glykogen und Triglyceride enthaltenden Energiespeicher in den trainierten Muskelfasern vor und nach dem Sport [17, 20]

Der Blutzuckerspiegel, der sich auf die Freisetzung der für die glykämische Kontrolle zuständigen Hormone, wie z.B. Insulin, Cortisol, Katecholamin sowie das Wachstumshormon, auswirkt [31, 32]

Die normale Ernährung, insbesondere die Zufuhr von Makronährstoffen, die sich auch auf die Grösse der intramuskulären Energiespeicher und die Blutzuckerkonzentration auswirkt [17, 20]

Die Muskelfaserart, die auf strukturellen und biochemischen Eigenschaften basiert, einschliesslich der Aktivität von Enzymen, die den Katabolismus und den für den Stoffwechsel benötigten Energiespeicher steuern [12, 17]

Die Trainiertheit, definiert durch das Mass der metabolischen Adaption an wiederholte Trainingseinheiten einer bestimmten Sportart insbesondere in der trainierten Skelettmuskulatur [12, 17]

Die Konzentration der Geschlechtshormone im Blut, die bei präpubertären Kindern vernachlässigbar ist und mit Einsetzen der Pubertät steigt [23, 26]

rung für den Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit und die Gesundheit hat, von den Sportlern, ihren Eltern oder Trainern falsch eingeschätzt wird. Die Verwirrung und Unsicherheit hinsichtlich der Ernährungsbedürfnisse von Leistungssportlern im Kindesalter sind angesichts der geringen Zahl an Forschungsarbeiten, die zu diesem Thema veröffentlicht wurden, verständlich. Kinder, insbesondere Jugendliche, nehmen unter Umständen gefährliche Ernährungsgewohnheiten an, weil sie missverständlichen und unbegründeten Ernährungsratschlägen aus den Medien und populären Zeitschriften unterliegen. Aus diesen Gründen sollten Leistungssportler im Kindesalter sorgfältig von Personen mit entsprechender Erfahrung in Ernährungsfragen beraten werden. Jugendliche sind tendenziell besonders empfindlich, was ihr Körperbild anbetrifft, und haben unter Umständen ein verzerrtes Bild von Nahrung und Ernährung. Anstatt die Nahrungsaufnahme als etwas Wesentliches anzusehen,

das den normalen Stoffwechsel antreibt, sehen sie möglicherweise in der Nahrung einen «Feind», der eine unerwünschte Gewichtszunahme fördert [24, 51, 52]. Daher sollten Leistungssportler im Kindesalter von Personen, die ihnen wichtig sind (z.B. ihren Trainern und Eltern) darüber aufgeklärt werden, wie wichtig die Nahrung als lebenswichtiger Brennstoff für eine optimale Leistungsfähigkeit und Gesundheit ist.

Sporternährung allgemein: Die besondere Rolle der Ernährung bei Sportlern

Eine ausgewogene Ernährung ist unabhängig vom Alter bei allen Personen, die Sport treiben, von grösster Wichtigkeit für den Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Gesundheit. Die Nahrung enthält die chemischen Elemente, welche die Skelettmuskulatur benötigt, um während des Sports Energie zu produzieren, die Energiespeicher nach dem Sport wieder aufzufüllen und die geschädigten Muskeln zu regenerieren. Nahrung verändert ferner die Blutkonzentrationen der anabolen und katabolen Hormone, die sich auf den Stoffwechsel der gespeicherten Energie während des Sports und die Fähigkeit, sich nach dem Sport zu erholen, auswirken [21, 53]. Wichtigster Punkt bei der Ernährung von Personen, die aufgrund ihrer sportlichen Aktivität einen hohen Energieumsatz haben, ist die Gewährleistung einer adäquaten Energiezufuhr. Diese Personen haben einen höheren Bedarf an Energie und bestimmten Nährstoffen als Personen des gleichen Alters und Geschlechts, die einen eher bewegungsarmen Lebensstil pflegen [8]. Massgeblich für diesen Bedarf ist, wie stark der Sport den Energieumsatz verglichen mit dem Ruheumsatz steigert, wie lange der Energieumsatz erhöht ist, wie hoch der durch das regelmässige Training verursachte gesamte «zusätzliche» Energiebedarf ist sowie der mit diesem Bedarf einhergehende Verbrauch und mögliche Abbau spezifischer Brennstoffe. Ernährung, Energiebilanz und Bewegung regulieren ferner die Körpermasse und die Körperzusammensetzung, die sich auf die sportliche Leistungskapazität auswirken [8, 37].

Kinder und Erwachsene, die regelmässig Sport treiben, profitieren wahrscheinlich auch von einer höheren, über die normalen Empfehlungen für den Grundumsatz hinausgehende Aufnahme bestimmter Makro- und Mikronährstoffe. Dadurch soll die Produktion der für den Sport benötigten Energie und die Regenerierung des Gewebes nach dem Sport unterstützt werden. Tabelle 1 enthält eine Auflistung der wichtigsten Faktoren, die sich

auf den Energieumsatz auswirken und während des Sports die für den Stoffwechsel benötigte Energie bereitstellen.

Je grösser die Masse der im Sport trainierten Muskeln und je höher die Kraftleistung dieser Muskeln, desto höher ist der Gesamtkörperenergieumsatz. Bei höherer Sportintensität und einem höheren Energieumsatz wird ausserdem sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern mehr Glykogen als Fett aufgespalten und verbraucht, um die Muskeln mit Energie zu versorgen [26, 44]. Ein anhaltendes und intensives Training ohne Zufuhr von Kohlenhydraten hat einen beträchtlichen Abbau der Glykogenspeicher in Muskeln und Leber zur Folge [16, 17]. Damit es nicht zu einem Abbau von Glykogen und zur Erschöpfung kommt, muss die Ernährung bei allen Personen, die regelmässig diese Art von Sport betreiben, eine ausgeglichene Energiebilanz aufweisen, bei der mindestens 55% der Energie aus Kohlenhydraten stammt [8, 24]. Wiederholte Trainingseinheiten, bei denen stets die gleichen Muskelgruppen aktiviert werden, erhöhen das Risiko eines Glykogenabbaus innerhalb der trainierten Muskelfasern. Daher hängen die sich aus sportlichen Aktivitäten ergebenden Ernährungsbedürfnisse stark mit dem Vorhandensein von Kohlenhydraten in der Form von Blutzucker und Glykogen in der Leber und Muskulatur zusammen [16, 17]. Da Fettspeicher im Verhältnis zu Glykogenspeichern im Körper gesunder Erwachsener und Kinder in Hülle und Fülle vorliegen, erweist sich die Lipidverfügbarkeit normalerweise nicht als ein limitierender Faktor der körperlichen Leistungsfähigkeit. Eine fetthaltige Ernährung wirkt sich somit bei sportlich aktiven Personen begrenzt auf die Muskelaktivität und die körperliche Leistungsfähigkeit, die Erholung nach dem Sport und die Trainingskapazität aus [20–22].

Die zwischen Erwachsenen und Kindern festgestellten Unterschiede im Energiestoffwechsel beim Sport sind in erster Linie auf Unterschiede in der Körpergrösse und auf unterschiedliche Konzentrationen der Geschlechtshormone im Blut zurückzuführen [22, 23]. Diese Hormone wirken sich über die Körpergrösse und –zusammensetzung, die Grösse der intra- und extramuskulären Energiespeicher des Körpers und die Aktivität diverser Enzyme, welche die Atmungsketten innerhalb der Skelettmuskulatur steuern, auf den Energiestoffwechsel aus. Unterschiede in den Konzentrationen der diversen Geschlechtshormone im Blut können ausserdem die zwischen Männern und Frauen bei sportlichen Aktivitäten einer bestimmten Intensität beobachteten Schwankungen im Energiestoffwechsel untermauern [18, 19].

Regeneration nach dem Sport

Sport liefert den wichtigsten Reiz für adaptive Veränderungen der Physiologie und des Stoffwechsels, die sich als nützlich oder hinderlich bezüglich der Leistung und der Gesundheit erweisen können [53, 54]. Die Ernährung, die Energiebilanz und die Blutkonzentration der für den Stoffwechsel benötigten Energielieferanten spielen bei der Regeneration nach dem Sport eine zentrale Rolle. Letztere steht für die Wiederherstellung der Homöostase nach dem Sport und umfasst den Wiederaufbau der Energiespeicher sowie die Synthese der strukturellen Proteine und Enzyme [53, 54]. Die funktionelle Adaption und die Adaption des Stoffwechsels hinsichtlich einer nachfolgenden Trainingseinheit hängt davon ab, wie erfolgreich die Regeneration nach dem Sport war. Insbesondere ein längeres, anstrengendes Training belastet die wichtigsten Organsysteme beträchtlich und löst einen allgemeinen Katabolismus aus. Nach dem Sport wird dieser Katabolismus dank einer Kombination aus Ruhephase und gesunder Ernährung in einen Netto-Anabolismus umgekehrt. Dieser Proteinaufbau oder Anabolismus fördert die positiven Adaptionen hinsichtlich der Funktionen des durch das Training belasteten Gewebes [53, 54]. Ein wichtiges Merkmal der Ruhephasen im Rahmen eines Trainingsprogramms ist, dass diese mit einem Energiestoffwechsellmuster der Skelettmuskulatur einhergehen, das entgegengesetzt zu dem während des Sports ablaufenden Muster ist [26, 53]. In diesen Ruhephasen werden keine grösseren Mengen Glykogen mehr abgebaut, und das wichtigste Energiesubstrat für die sich in der Ruhephase befindliche Skelettmuskulatur ist Fett. Niedrige Glukose- und Glykogenoxiderationsraten fördern die Glykogenresynthese und somit die erneute Auffüllung der Glykogenspeicher [26, 53].

Die Ernährung spielt bei der Adaption an das Training eine wichtige Rolle. Gelingt es nicht, die Energiespeicher, insbesondere die Glykogenspeicher in den Muskeln und in der Leber, nach dem Sport wieder aufzufüllen, so wird die Umkehr des durch den Sport hervorgerufenen Katabolismus verhindert, die Leistungsfähigkeit für weitere sportliche Aktivitäten beschränkt, und unter Umständen kommt es zu einer ungünstigen, schlechten Anpassung [21, 54]. Eine anhaltende oder wiederholt auftretende schlechte Adaption kann unter Umständen auch zu Übertrainingssymptomen führen. Kennzeichnend für diese sind Störungen der normalen Physiologie, Stoffwechselstörungen und Stimmungsschwankungen, die sich auf die Leistung, die Gesundheit und das Wohlbefinden auswirken [54, 55]. Zwar wurden die meisten For-

Tabelle 2. Die wichtigsten Funktionen der Ernährung, die eine positive Anpassung an das Training unterstützen

Versorgung der Skelettmuskulatur mit Stoffwechselenergie während des Sports, um für eine ausgeglichene Energiebilanz zu sorgen und der Erschöpfung vorzubeugen [13, 16]

Wiederauffüllung der Energiespeicher, insbesondere der Glykogenspeicher in den Muskeln und in der Leber, nach dem Sport, da Glykogen im Vergleich zu Fett nur in begrenzter Menge im Körper vorliegt [13, 16]

Wiederherstellung der Homöostase nach dem Sport, einschliesslich der Substitution von Flüssigkeit und Elektrolyten und Normalisierung der Blutzuckerkonzentration [21, 53]

Regeneration und Reparatur der Gewebe des Muskelskelettsystems, die durch sportinduzierte Mikrotraumata geschädigt wurden und somit Förderung der «Superkompensation» (d.h. einer stärkeren anabolen Reaktion) [21, 53]

schungsarbeiten, die sich mit der Wechselwirkung von Ernährung und Sport einerseits und der Leistungsfähigkeit und Gesundheit andererseits auseinandersetzen, an Erwachsenen und nicht an Kindern durchgeführt, aber angesichts der besonderen Anforderungen, die das Wachstum im Kindesalter an eine optimale Ernährung stellt, erscheint die Vermutung plausibel, dass der Versuch, die konkurrierenden Anforderungen von Wachstum und Sport miteinander in Einklang zu bringen, Kinder krankheitsanfälliger macht als Erwachsene. Daher ist die Ernährung, aufgrund ihrer regulatorischen Wirkungen hinsichtlich des vorherrschenden anabolen-katabolen Gleichgewichts, ein entscheidender Faktor für die Fähigkeit, eine Nutzwirkung aus dem Training zu ziehen.

Tabelle 2 enthält die wichtigsten Funktionen der Ernährung, die eine positive Anpassung an das Sporttraining unterstützen.

Unterschiedliche Ernährungsbedürfnisse von sportlich aktiven Kindern und Erwachsenen

Obwohl die zur Verfügung stehenden Daten begrenzt sind, scheinen vor allem Eigenschaften der Leistungsphysiologie und des Leistungsstoffwechsels von Kindern die Ernährungsbedürfnisse von Kindern und Erwachsenen voneinander abzugrenzen:

(1) Eine im Vergleich zur Kohlenhydratoxidation erhöhte Lipidoxidation bei submaximalem (aerobem) Training einer bestimmten relativen Intensität, welche die Abhängigkeit von Glykogen und damit möglicher-

weise die Bedeutung der Kohlenhydrate in der Ernährung als Energielieferant der Muskeln senkt [35, 44].

(2) Eine geringere mechanische Effizienz bei gewichtstragenden Aktivitäten, wie z.B. Gehen und Laufen, was einen höheren Energieaufwand pro Körpermasseeinheit zur Folge hat, womit Tabellen, die den Energieverbrauch bei diversen Aktivitäten basierend auf den experimentellen Daten von Erwachsenen auflisten, in nur sehr eingeschränktem Masse auf Kinder angewendet werden können [22, 56].

(3) Kinder schwitzen weniger, können Hitze schlechter abgeben bzw. die tiefe Körpertemperatur nicht so gut regulieren und haben dadurch einen höheren Flüssigkeitsbedarf [22, 57].

Diese Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen nivellieren sich im Laufe der Jugend mit zunehmender Körpergrösse und pubertärer Reifung [2, 23]. Bis dato ist die Forschung zu dem Schluss gekommen, dass präpubertäre Kinder die metabolischen und physiologischen Attribute besitzen, um erfolgreich Ausdauersport (im aeroben Bereich) und sportliche Aktivitäten mit kurzfristiger (<10 s) intensiver Muskelaktivität zu betreiben, wie z.B. Springen, Werfen und kurze Sprints, bei denen die benötigte Energie durch die Aufspaltung von ATP und Kreatinphosphat gewonnen wird. Anscheinend jedoch eignet sich die Physiologie präpubertärer Kinder nicht für Aktivitäten, bei denen die Energie durch anaerobe Glykolyse gewonnen wird [22, 23]. Im Laufe der Jugend steigert sich, insbesondere bei Jungen, die Kapazität zur anaeroben Glykolyse, was möglicherweise mit der zunehmenden Entwicklung der enzymatischen Steuerung dieser Atmungskette bzw. einer erhöhten Kapazität des Glykogenspeichers zusammenhängt [22, 23]. Beim Sport im aeroben Bereich metabolisieren sowohl Kinder als auch Erwachsene mit zunehmender Trainingsintensität verhältnismässig mehr endogene Kohlenhydratspeicher (d.h. Muskelglykogen und Blutzucker) und proportional gesehen weniger Fett [22, 44]. Interessanterweise jedoch scheinen Kinder relativ gesehen eine höhere Menge exogener, während des Sports zugeführter Kohlenhydrate zu oxidieren als Erwachsene [34, 35]. Dies mag daran liegen, dass die Kapazität, endogenes Glykogen zu katabolieren, um dieses als Energiesubstrat zu verwenden, bei Kindern weniger ausgeprägt ist als bei Erwachsenen.

Kinder mit einem hohen Mass an Bewegung, insbesondere Kinder, die einen anstrengenden Leistungssport treiben, müssen über die Ernährung Energie und spezifische Nährstoffe aufnehmen, die über die Bedürfnisse von Kindern hinausgehen, die einen eher bewegungsar-

men Lebensstil pflegen oder sich in einem normalen Mass bewegen. Da aus der Forschung jedoch nur eine begrenzte Zahl an Nachweisen vorliegt, ist derzeit noch nicht genau geklärt, wie sich die Ernährungsbedürfnisse sportlicher Kinder von den Ernährungsbedürfnissen normal aktiver Kinder unterscheiden. Bei Erwachsenen haben bestimmte Ernährungsstrategien, u.a. die Aufnahme von Kohlenhydraten mit oder ohne Protein vor, während und nach dem Sport ergeben, dass diese die körperliche Leistungsfähigkeit steigern und die Regeneration nach dem Sport beschleunigen [21, 58]. Kohlenhydratreiche Ernährungsregimes bauen den Glykogenspeicher vor und nach dem Sport auf, sorgen damit für den Erhalt einer ausreichenden Blutzuckerkonzentration und begrenzen sowohl den Glykogen- als auch den Proteinabbau während des Sports [20, 28]. Derzeit kann das Ausmass, in dem diese Art der Ernährungsmanipulation die Leistungsfähigkeit der Kinder steigert und die Erholung nach dem Sport beschleunigt, grossteils nur vermutet werden. Beim Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln ist sowohl bei Kindern [59] als auch bei Erwachsenen [8] Vorsicht geboten.

Flüssigkeitsbilanz und Wärmeregulation

Die Flüssigkeits- und die Elektrolytbilanz sind für den Erhalt der Homöostase und der körperlichen Leistungsfähigkeit von grösster Wichtigkeit. Die Muskeltätigkeit ist zum Grossteil ineffizient und wandelt über 75% der aus dem Stoffwechsel gewonnenen Energie in Wärme anstatt in mechanische Energie um. Dies gilt insbesondere für Kinder, die beim Gehen und Laufen eine geringere mechanische Effizienz aufweisen als Erwachsene [22, 56]. Wird übermässig viel Wärme im Körper gespeichert, sind Hyperthermie und Hitzschlag die Folge. Dies lässt sich auch nicht durch die kompensatorischen Reaktionen auf eine Erhöhung der tiefen Körpertemperatur vermeiden, zu denen u.a. die Vasodilatation (Gefässerweiterung) zählt, welche die Konvektion der Wärme an die Hautoberfläche steigert und somit für ein vermehrtes Schwitzen sorgt, das den Wärmeverlust über die Verdunstung erhöht und die Haut kühlt.

Werden die durch das Schwitzen ausgeschiedenen Flüssigkeiten und Elektrolyte (insbesondere Natrium) nicht substituiert, so kommt es zur Dehydratation und zu einem Elektrolytungleichgewicht (z.B. zur Hyponatriämie) [22, 57]. Ferner ist bei Kindern das Risiko eines Hitzschlags höher als bei Erwachsenen, weil das Verhältnis von Körperoberfläche zu Körpervolumen bei Kin-

dern grösser ist, ihre Herzleistung und mechanische Effizienz niedriger und ihre kompensatorischen Reaktionen auf die Hyperthermie unterentwickelt sind [22, 57]. Das Risiko eines Hitzschlags und der Dehydratation ist am höchsten, wenn die Umgebungstemperatur über 37°C steigt und die Luftfeuchtigkeit zu hoch ist, um einen wirksamen Wärmeverlust über die Verdunstung zu ermöglichen. Zu den Anzeichen einer durch Überhitzung verursachten Krankheit zählen die Ausscheidung geringer Mengen dunklen Urins, dessen Farbe an Coca-Cola erinnert, Lethargie, Übelkeit, Kopfschmerzen und Verwirrung.

Die ausgeschiedene Flüssigkeit muss substituiert werden, um die Herzleistung, den Blutdruck und die Gewebepfusion nachhaltig zu stützen. Letztere unterstützt die Versorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff und die Entsorgung der Stoffwechselabfallprodukte. Da Durst, sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern, in der Regel ein schlechter Indikator für den Flüssigkeitsbedarf ist, sollte man Kinder dazu anhalten, vor, während und nach dem Sport zu trinken, um der Dehydratation vorzubeugen. Versetzt man das Wasser mit kleinen Mengen an Natriumchlorid, so wird der Durstmechanismus durch den Erhalt der Plasmaosmolalität sensibilisiert und die diuretische Wirkung im Vergleich zu reinem Wasser gesenkt [8, 22, 57]. Bei Erwachsenen wurde belegt, dass bei Trainingseinheiten, die länger als eine Stunde dauern, eine Hypoglykämie wahrscheinlich vermieden und möglicherweise sowohl die körperliche Leistungsfähigkeit als auch die Regeneration nach dem Sport verbessert werden kann, wenn man das Wasser mit Kohlenhydraten (8–10%) versetzt [8, 22, 57].

Praktische Empfehlungen

Dieser Artikel verfolgt in erster Linie das Ziel, Ernährungsempfehlungen für sportlich aktive Kinder aufzustellen, die auf den physiologischen und metabolischen Bedürfnissen beruhen, die für ein gesundes Leben und Wachstum und für die sportliche Aktivität gedeckt werden müssen. Nichtsdestoweniger gilt es, zur Förderung einer angemessenen Ernährung bei sportlich aktiven Kindern offensichtliche praktische Probleme zu berücksichtigen. Diese Probleme müssen von den Eltern, den Trainern und den Kindern selbst bewältigt werden, und zu diesem Zweck sollten die wissenschaftlichen Erkenntnisse in entsprechende Verhaltensregeln übertragen werden. Welche Mittel in der Praxis eingesetzt werden können, um eine ausgewogene Ernährung zu gewährleisten,

wurde bereits in früheren Publikationen im Einzelnen besprochen [22, 24]. Informative Ratschläge bieten u.a. auch die folgenden Internetauftritte: Gatorade Sport Science Institute (www.gssiweb.com) und United States Department of Agriculture Center for Nutrition Policy (www.usda.gov/cnpp). Der zuletzt genannte Internetauftritt enthält den «Food Pyramid Guide» (www.mypyramid.gov), der darauf abzielt, der breiten Öffentlichkeit ein leicht verständliches Hilfsmittel an die Hand zu geben, mittels welchem eine nahrhafte und ausgewogene Ernährung erzielt werden kann. Dieser Leitfaden teilt die Nahrungsmittel basierend auf ihrer Herkunft und ihren primären Nahrungsbestandteilen in Gruppen ein (z.B. Milchprodukte, Fleisch/Fisch, Gemüse, Obst, Getreideprodukte) und empfiehlt eine tägliche Aufnahmemenge (ausgedrückt als Portionen) für Kinder und Erwachsene, bei der eine angemessene Versorgung mit allen wesentlichen Nährstoffen gewährleistet ist. Für ältere Jugendliche (16–18 Jahre) gelten die wertvollen Ernährungsempfehlungen, die im Joint Position Statement on Nutrition and Athletic Performance der ACSM, ADA und DC [8] enthalten sind.

Wie bereits erklärt, sind die mit der Nahrung zugeführte Energie und Proteine für den Erhalt der Gesundheit und der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Sportlern, die sich noch im Wachstum befinden, besonders wichtig. Wie viel «zusätzliche» Energie für das Wachstum benötigt wird, schwankt je nach Körpergrösse und Entwicklungsstand und wird bei nicht adipösen Kindern am besten im Verhältnis zur Körpermasse angegeben. Am höchsten ist der Energie- und Eiweissbedarf während des Wachstumsschubs in der Pubertät und hier bei Jungen, da diese schneller wachsen und zunehmen, höher als bei Mädchen [1, 24]. In dieser Entwicklungsphase, die normalerweise im Alter von ungefähr 8–10 Jahren einsetzt, beträgt der Energiebedarf bei normal aktiven Mädchen und Jungen in der Regel 65–75 kcal/kg/Tag und der Eiweissbedarf 1,1–1,2 g/Tag. Bis zu einem Alter von 12–13 Jahren ist der Energie- und Eiweissbedarf auf 50–60 kcal/kg/Tag bzw. 1,0–1,1 g/Tag gesunken und beträgt im Alter von 16–17 Jahren 40–50 kcal/kg/Tag und 0,9–1,0 g/Tag [22–24]. Die höheren Werte des Energie- und Eiweissbedarfs gelten in der Regel für Jungen, da diese grösser sind. Der für den Sport benötigte Energieaufwand ist zu berücksichtigen und zu den oben genannten Werten zu addieren.

Bei gesunden Kindern wird der mit Sport zusammenhängende hohe Energiebedarf in der Regel durch eine natürliche Appetitsteigerung gedeckt, wobei es wichtig ist, dass die Ernährung, aus der die Energie gewonnen wird,

nahrhaft und wohlausgewogen ist. Wird die Ernährungspyramide beachtet, dann stammt die gewonnene Energie zu ungefähr den folgenden Prozentsätzen aus den diversen Makronährstoffen: 55–60% stammen aus Kohlenhydraten, 12–15% aus Eiweiss und 25–30% aus Fett. Aufgrund der spärlichen Daten lässt sich derzeit nicht bewerten, wie sich Sport auf den Eiweissbedarf von im Wachstum befindlichen Kindern auswirkt. Bei erwachsenen Sportlern wurde jedoch belegt [21], dass sie zur Vermeidung einer negativen Stickstoffbilanz 50–80% mehr Eiweiss benötigen als ihre Altersgenossen, die sich in einem normalen Mass bewegen, und diese Annahme erscheint auch bei sportlich aktiven Kindern plausibel. Nichtsdestoweniger wird der Eiweiss- und zusätzliche Kohlenhydratbedarf von im Wachstum befindlichen Sportlern wahrscheinlich durch die Gewährleistung einer ausgeglichenen Energiebilanz und der bereits erwähnten proportionalen Anteile der Makronährstoffe in der Nahrung ausreichend gedeckt. Die zusätzliche Kohlenhydratzufuhr wird als «eiweiss sparend» bezeichnet, da sie den Verbrauch von Eiweiss als Substrat für die ATP-Synthese und Glukoneogenese begrenzt [8, 24]. Bei vegetarisch ernährten Kindern besteht das Risiko eines Proteinmangels. Dies gilt insbesondere für Kinder, die auch keinen Fisch und keine Milchprodukte essen, welche ebenso wie Fleisch alle essenziellen Aminosäuren enthalten. Bei vegetarischen Sportlern im Kindesalter ist eine sorgfältige Auswahl gemischter eiweissreicher Nahrungsmittel (z.B. Hülsenfrüchte, Getreideprodukte und Nüsse) zur Gewährleistung einer ausgewogenen und ausreichenden Aufnahme aller essenziellen Aminosäuren von grösster Wichtigkeit.

Wachstum und regelmässiger Sport erfordern ausserdem zur Steuerung essenzieller Stoffwechselbahnen, die an der Synthese von ATP und neuem Gewebe beteiligt sind, den Konsum von Nahrungsmitteln, die ausreichende Mengen an Mikronährstoffen bereitstellen. Während des Wachstums wird zur Synthese von Hämoglobin bzw. Knochenmineralien eine erhöhte Menge an Eisen und Kalzium benötigt. Bedeutsamerweise haben Ernährungsstudien aus den USA [24] und Grossbritannien [60], die an Kindern mit einem normalen Mass an körperlicher Bewegung durchgeführt wurden, einen Mangel an genau diesen Mineralstoffen sowie den Vitaminen C, E und B₆ belegt. Zwar ist der Mangel an diesen Nährstoffen zum Grossteil auf eine unzureichende Ernährung zurückzuführen, aber der mit dem Wachstum assoziierte höhere Bedarf dieser Mikronährstoffe trägt ebenfalls zu diesem Mangel bei. Körperlich aktive Kinder sollten dazu angehalten werden, während des Tages

regelmässig (100–150 ml/h) zu trinken. Je nach Körpergrösse sollten sie in den 2 Stunden vor dem Training zusätzlich 200–400 ml, während des Trainings alle 15–20 Minuten 150–200 ml und unmittelbar nach dem Training 400–600 ml Wasser trinken [57]. Bei Kindern kann die Sicherstellung einer ausgewogenen Flüssigkeitsbilanz und eines ausreichenden Hydratationszustands möglicherweise durch die Bereitstellung leckerer Getränke (z.B. in bestimmten Geschmacksrichtungen) verbessert werden.

Schlussfolgerungen

Optimales Wachstum und eine optimale Entwicklung zählen zu den wichtigsten Zielen im Kindesalter. Für diese beiden Entwicklungsprozesse bedarf es einer positiven Energie- und Stickstoffbilanz. Bei Kindern, die Leis-

tungssport betreiben, sollten die sich aus dem Sport und dem normalen Wachstum ergebenden Nährstoffbedürfnisse daher ausreichend über die Ernährung gedeckt werden. Die Ernährungsempfehlungen für sportlich aktive Kinder ändern sich mit zunehmender Körpergrösse und pubertärer Reife. Der Reifestatus beeinflusst die metabolischen und physiologischen Reaktionen beim Sport und wirkt sich so auf die körperliche Leistungsfähigkeit und den Nährstoffbedarf aus. Präpubertäre Kinder sind physiologisch gut in der Lage, längere Trainingseinheiten im aeroben Bereich zu absolvieren. Im anaeroben Bereich jedoch ist ihre Leistungsfähigkeit beschränkt. Ähnlich wie sportlich aktive Erwachsene haben auch sportlich aktive Kinder einen höheren Energie-, Kohlenhydrat-, Eiweiss- und Wasserbedarf als ihre Altersgenossen, die sich in einem normalen Umfang bewegen oder gar einen eher bewegungsarmen Lebensstil pflegen.

Literatur

- 1 Malina RM: Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exerc Sports Sci Rev* 1994;22:389–433.
- 2 Naughton G, Farpur-Lambert NJ, Carlson J, Bradney M, Van Praagh E: Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports Med* 2000;30:309–325.
- 3 Roemmich JN, Richmond EJ, Rogel AD: Consequences of sport training during puberty. *J Endocrinol Invest* 2001;24:708–715.
- 4 Zanker CL, Cooke CB: Energy balance, endocrine function and bone health. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1372–1381.
- 5 Soyka LA, Grinspoon S, Levitsky LL, Herzog DB, Klibanski A: The effects of anorexia nervosa on bone metabolism in female adolescents. *J Clin Endocrinol Metab* 1999;84:4489–4496.
- 6 Warren MP: The effects of exercise on pubertal progression and reproductive function in girls. *J Clin Endocrinol Metab* 1980;51:1150–1157.
- 7 Rogel AD, Clark PA, Roemmich JN: Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *Am J Clin Nutr* 2000;72(suppl):521S–528S.
- 8 Manore MM, Barr SI, Butterfield GE: Nutrition and Athletic Performance. Joint Position Statement of ACSM/ADA/DC. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:2130–2145.
- 9 Medical Research Council Ethics Guide. Medical Research Involving Children. London, Medical Research Council, 2004.
- 10 McIntosh N, Bates P, Brykczynska G, Dunstan G, Goldman A, Harvey D, Larcher V, McCrae D, McKinnon A, Patton M, Saunders J, Shelley P: Guidelines for the ethical conduct of medical research involving children. Royal College of Paediatrics and Child Health: Ethics Advisory Committee. *Arch Dis Child* 2000;82:177–182.
- 11 International Ethical Guidelines for Biomedical Research Involving Human Subjects. Geneva, Council for International Organizations of Medical Sciences, 2002.
- 12 De Feo P, Di Loreto C, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, Piccioni F, Santeusano F: Metabolic response to exercise. *J Endocrinol Invest* 2003;26:851–864.
- 13 Hagerman FC: Energy metabolism and fuel utilization. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:S309–S314.
- 14 Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Schwartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, Bassett DR Jr, Schmitz KH, Emplaincourt PO, Jacobs DR Jr, Leon AS: Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:S498–S504.
- 15 Hendricks KM, Duggan C, Walker WA: Manual of Pediatric Nutrition, ed 3. Hamilton, Decker, 2000, p 142.
- 16 Brooks GA: Mammalian fuel utilization during sustained exercise. *Comp Biochem Physiol Biochem Mol Biol* 1998;120:89–107.
- 17 Coyle EF: Substrate utilization during exercise in active people. *Am J Clin Nutr* 1995;61(suppl):S968–S979.
- 18 Tarnopolsky LJ, MacDougall JD, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Sutton JR: Gender differences in substrate for endurance exercise. *J Appl Physiol* 1990;68:302–308.
- 19 Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, O'Hill J: Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol* 1998;85:1823–1832.
- 20 Spriet LL, Peters SJ: Influence of diet on the metabolic responses to exercise. *Proc Nutr Soc* 1998;57:25–33.
- 21 Kreider RB, Miriel V, Bertun E: Amino acid supplementation and exercise performance. Analysis of the proposed ergogenic value. *Sports Med* 1993;16:190–206.
- 22 Bar-Or O: Nutritional considerations for the child athlete. *Can J Appl Physiol* 2001;26(suppl):S186–S191.
- 23 Boisseau N, Delamarche P: Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med* 2000;30:405–422.
- 24 Steen SN: Nutrition for the school age athlete; in Berning JR, Steen SN (eds): *Nutrition for Sport and Exercise*. Gaithersburg, Aspen, 1998, pp 217–245.
- 25 Green HJ: Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sci* 1997;15:247–256.
- 26 Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldello A, Hoeowitz JF, Endert E, Wolfe RR: Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:E380–E391.

- 27 Brooks GA, Mercier J: Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the 'crossover' concept. *J Appl Physiol* 1994; 76:2253–2261.
- 28 Wagenmakers AJM, Beckers EJ, Brouns F, Kuipers H, Soeters PB, Van Der Vusse GJ, Saris WHM: Carbohydrate supplementation, glycogen depletion and amino acid metabolism during exercise. *Am J Physiol* 1991;260: E883–E890.
- 29 Kasperek GJ, Snider RD: Effect of exercise intensity and starvation on activation of branched-chain keto-acid dehydrogenase by exercise. *Am J Physiol* 1987;252:E33–E37.
- 30 Zanker CL, Swaine IL, Castell L, Newsholme EA: Responses of plasma glutamine, free tryptophan and branched-chain amino acids to prolonged exercise after a regime designed to reduce muscle glycogen. *Eur J Appl Phys* 1997;75:543–548.
- 31 Galbo H: Exercise physiology: humoral function. *Sport Sci Rev* 1992;1:65–93.
- 32 Viru A: Stability and variability in hormonal responses to prolonged exercise. *Int J Sports Med* 1992;13:230–234.
- 33 Martinez LR, Haymes EM: Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:975–983.
- 34 Riddell MC, Bar-Or O, Wilk B, Parolin ML, Heigenhauser GJ: Substrate utilization during exercise with glucose and glucose plus fructose ingestion in boys ages 10–14 yr. *J Appl Physiol* 2001;90:903–911.
- 35 Timmons BW, Bar-Or O, Riddell MC: Oxidation rate of exogenous carbohydrate during exercise is higher in boys than in men. *J Appl Physiol* 2002;94:278–284.
- 36 Berg A, Keul J: Biochemical changes during exercise in children; in Malina RM (ed): *Young Athletes: A Biological, Psychological and Educational Perspective*. Champaign, Human Kinetics, 1988, pp 61–67.
- 37 Astrand PO, Rodahl K: *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. New York, McGraw-Hill, 1986, pp 295–353.
- 38 Biddle S, Sallis J, Cavill N: *Young and Active? Young People and Health-Enhancing Physical Activity: Evidence and Implications*. London, Health Education Authority, 1998.
- 39 Zanker CL, Gannon L, Cooke CB, Gee KL, Oldroyd B, Truscott JG: Differences in bone density, body composition, physical activity and diet between child gymnasts and untrained children aged 7–8 years. *J Bone Miner Res* 2003;18:1043–1050.
- 40 Caine D, Lewis R, O'Connor P, Howe W, Bass S: Does gymnastics training inhibit growth of females? *Clin J Sport Med* 2001;11:260–270.
- 41 Armstrong N, Welsman JR: Developmental aspects of aerobic fitness in children and adolescents; in Holloszy JO (ed): *Exercise and Sports Science Reviews*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1994, pp 435–476.
- 42 Saltin B: Oxygen transport by the circulatory system during exercise in man; in Keul J (ed): *Limiting Factors of Physiological Performance*. Stuttgart, Thieme, 1973, pp 235–252.
- 43 Pate RR, Kriska A: Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med* 1984;1:87–90.
- 44 Foricher JM, Ville N, Gratas-Delamarche A, Delamarche P: Effects of submaximal intensity cycle ergometry for one hour on substrate utilization in trained prepubertal boys versus trained adults. *J Sports Med Phys Fitness* 2003;43:36–43.
- 45 Golden K, Waterlow JC, Picou D: The relationship between dietary intake, weight change, nitrogen balance and protein turnover in man. *Am J Clin Nutr* 1977;30:1345–1348.
- 46 Matkovic V, Ilich J, Skugor M, Badenhop NE, Goel P, Clairmont A, Klisovic D, Nahhos RW, Landoll JD: Leptin is inversely related to age at menarche in human females. *J Clin Endocrinol Metab* 1997;82:3239–3245.
- 47 Welt CK, Chan JL, Bullen J, Murphy R, Smith P, DePaoli AM, Karalis A, Mantzoros CS: Recombinant human leptin in women with hypothalamic amenorrhea. *N Engl J Med* 2004;351:987–997.
- 48 Bonjour J, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R: Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. *J Clin Endocrinol Metab* 1991;73:555–563.
- 49 Weaver CM: Adolescence: the period of dramatic bone growth. *Endocrine* 2002;17:43–48.
- 50 Baxter-Jones ADG, Helms PJ: Effects of training at a young age: review of the training of young athletes study. *Pediatr Exerc Sci* 1996;8:310–327.
- 51 Wilson GT, Eldridge KL: Pathology and development of eating disorders: implications for athletes; in Brownell KD, Rodin J, Wilmore JH (eds): *Eating, Body Weight and Performance in Athletes. Disorders of Modern Society*. Philadelphia, Lea & Febiger, 1992, pp 115–127.
- 52 Sundgot-Borgen J: Risk and trigger factors for the development of eating disorders in female elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:414–419.
- 53 Viru A: Post-exercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism. *Scand J Med Sci Sports* 1996;6:2–14.
- 54 Kuipers H, Keizer HA: Overtraining in elite athletes: a review and directions for the future. *Sports Med* 1988;6:79–92.
- 55 Fry RW, Morton AR, Keast D: Overtraining in athletes: an update. *Sports Med* 1991;12: 32–65.
- 56 Frost G, Dowling J, Dyson K, Bar-Or O: Co-contraction in three age groups of children during treadmill locomotion. *J Electromyog Kinesiol* 1997;7:179–186.
- 57 Rivera-Brown AM, Gutierrez R, Gutierrez JC, Frontera WR, Bar-Or O: Drink composition, voluntary drinking and fluid balance in exercising, trained, heat-acclimatized boys. *J Appl Physiol* 1999;86:78–84.
- 58 Zawadzki KM, Yaspelkis BB, Ivy JL: Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol* 1992;72:1854–1859.
- 59 Johnson WA, Landry GL: Nutritional supplements: fact vs. fiction. *Adolesc Med* 1998; 9:501–513.
- 60 Gregory J, Lowe S, Bates CJ, Prentice A, Jackson LV, Smithers G, Wenlock R, Farron M: *National Diet and Nutrition Survey: Young People Aged 4 to 18 Years. Vol 1: Report of the Diet and Nutrition Survey*. London, TSO, 2000.