©NSCA JAPAN
Volume 27, Number 7, pages 23-29

Key Words【ランニング:running、傷害:injuries、バーンアウト(燃え尽き症候群):burnout、骨の健康状態:bone health、女性アスリートの三主徴:female athlete triad、スポーツにおける相対的エネルギー不足:relative energy deficiency in sport】

若年ランナーの健康状態を最適化するための提言

Recommendations to Optimize Health in Youth Runners

Adam S. Tenforde, [1] M.D. **William O. Roberts,** [2] M.D., M.S. **Brian J. Krabak,** [3] M.D., MBA
Irene S. Davis, [1] Ph.D., PT **Michael Fredericson,** [4] M.D. **Anthony C. Luke,** [5] M.D.
Kathryn E. Ackerman, [6] M.D., MPH

[1] Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Spaulding National Running Center, Spaulding Rehabilitation Hospital, Harvard Medical School, Charlestown, Massachusetts
[2] Department of Family Medicine, University of Minnesota Medical School, Minneapolis, Massachusetts
[3] Rehabilitation, Orthopedics, and Sports Medicine, University of Washington and Seattle Children's Sports Medicine, Seattle, Washington
[4] Department of Orthopedic Surgery, Stanford University School of Medicine, Stanford, California
[5] UCSF Department of Orthopedics, UCSF Department of Family and Community Medicine, UCSF Primary Care Sports Medicine, San Francisco, California
[6] Divisions of Sports Medicine and Endocrinology, Boston Children's Hospital and Neuroendocrine Unit, Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts

要約

若年者のランニングとは、18歳未満が参加するものと定義される。ジャンプ動作や多方向の負荷を伴うスポーツ(サッカー、バスケットボール)は、骨の健康状態を最適化する効果が期待できる。心理学的な発達の面では、傷害とバーンアウト(燃え尽き症候群)のリスクを抑制するためのモニタリングが求められる。健康には、十分な利用可能エネルギーの確保が不可欠であり、異常な食行動をスクリーニングして、栄養摂取を最適化することが重要である。成長のスパート期における傷害への対策としては、ランナーの身体的成熟度を見極め、従来的な治療を施すのが最善である。適切な競技の開始時期とレース距離は、年齢に基づく推奨ではなく個別に判断すべきであり、慎重なモニタリングが求められる。また足部の筋力向上を推進し、着地の衝撃を緩和することは、傷害リスクの低減に繋がる可能性がある。

序論

ランニング競技に参加する若年者が増加している(23,24)。若年ランナー(17歳以下のランナーと定義される)は、健康を増進し、競技寿命を延ばす上で、成人ランナーとは異なるニーズを有する。若年ランナーにおいて我々が定義する健康とは、正常かつ年齢および成熟度に適した身体的、心理的発達を示しながらランニング競技(クロスカントリー、陸上トラック種目、ロードレース、およびトレイルランニング)に参加している状態を指す。ランニングを競技の一要素として含む陸上スポーツ(バスケットボールやサッカーなど)はこれに該当しない。若年者におけるランニング関連の傷害を調査した研究では、2007年に米国で救急外来を受診した症例は1994年に比べて34%増加しており、最も受傷率が高かったのは12～14歳のランナーであった(米国の人口10万人当たり45.8人)(31)。若年ランナーには、トレーニング、筋骨格系の健康状態、栄養摂取、心理的な健康状態、および走行距離を最適化し、傷害、オーバート

レーニング、およびバーンアウト(燃え尽き症候群)のリスクを低減する方策が必要である。そこで本稿では、若年者のランニングに関連したよくある疑問点について、最新の科学的知見を基に提言を行なう。

骨の発達を助け、将来の骨ストレス障害を低減するために若年ランナーに推奨すべき最適な身体活動は何か？

骨は動的な構造であり、ホルモン、栄養摂取、行動および機械的負荷に反応して強度を増大させる(43)。骨の発達に最も重要な時期は、身長の最大成長速度を挟んだ2年間であり、成人における骨量の26％がこの時期に獲得される(29)。最大骨量を獲得する時期にスポーツに参加することは、密度を増大させ、構造の幾何学的特性を強化することで骨構造を向上させる効果が期待できる(52,54)。若年アスリートが高インパクトな負荷または多方向の負荷を伴うスポーツに参加すると、そのスポーツにおいて負荷が加えられる解剖学的部位の骨密度(BMD)が増大し、骨の幾何学的構造が強化される可能性がある(56)。これに対し、ランニングがもたらす反復的な衝撃負荷だけでは、骨の健康状態において予測可能な向上を得られない。また、衝撃負荷を伴わないスポーツ(水泳など)では、非アスリートよりも骨強度が低くなりうる(15)。

若年ランナーが高インパクトで多方向の負荷を伴うスポーツに参加すると、骨の健康状態にクロスオーバー効果が得られる。バスケットボールにも参加している思春期の男子ランナーは、疲労骨折のリスクが82％低かった。(57)。より年長の18～44歳のエリートランナーで若年期に球技に参加していた人は、参加していなかった人に比べてランニングにおける疲労骨折のリスクが50％低かった(16)。一方で、月経不順を有する女性は、骨に対する同様の有益な効果を球技から得ておらず(16)、骨への負荷に対する反応に影響を及ぼす因子が複数存在するモデルを裏付けている。

体重の＞3.5倍、かつピークフォース＜0.1秒の地面反力が、骨の発達に最も効果的な刺激であると考えられる(18)。若年アスリートが参加するスポーツ活動においてこのような力に曝されることがない場合は、大きな地面反力が素早く伝達されるジャンプ運動のプログラムを用いてクロストレーニングを実施することができる。例えば、思春期の自転車競技選手と水泳選手が9ヵ月間の定期的なジャンプトレーニングプログラムに参加したところ、骨塩量と骨の幾何学的構造がともに有意に向上した(58)。

提言

すべての若年アスリートは小児期に最低2年間、高インパクトまたは多方向の衝撃を伴うスポーツに参加すべきである。高インパクトまたは多方向の負荷を伴うスポーツに参加しない若年ランナーは、体系的なジャンプトレーニングプログラムに参加することで骨量の増加を図るべきである。

安全に競技に参加し、バーンアウトを回避するために、若年ランナーの心理的発達をどのような方法で評価すればよいのか？

若年ランナーにとって安全かつ支援的な環境を整えることは、競技寿命を延ばし、身体活動全般を増やし、心理的健康に貢献すると考えられる。若年ランナーは、身体的、心理的に発達する途上で競技に参加している。若年ランナーの心理状態を評価する際は、年齢以外の要因も考慮しなくてはならない。若年ランナーは、自らにモチベーションを与えてくれるものを競技参加の原動力とすべきである。自発的なモチベーションを有する若年ランナーは、生涯ランナーとして成功する見込みが高い。ランニング行動がコーチや家族からの外的な報酬や罰によって指示またはコントロールされていると、完璧主義やトレーニングに伴う苦痛が生じ、バーンアウトが進行することが予想される(5,30)。親やコーチからの外的な影響は、完璧主義的な思考やストレス増大の予測因子であり、これには男女差が存在する(5)。完璧主義は、摂食障害などいくつかの精神疾患に関連づけられている(53)。

完璧主義と、コーチまたは親がもたらすストレス要因は、若年ランナーのバーンアウトやオーバートレーニングに繋がる。若年アスリートにおけるバーンアウトとは、慢性的なストレスを受け、それに対処しようと努力しても緩和されなかった結果、以前は楽しんでいた活動から遠ざかることと定義することができる(51)。また、現在の若年スポーツ文化においてより一般的となっている競技種目の特化は、多くの場合、ひとつの競技をメインに選んで年間8ヵ月以上トレーニングすること、あるいは他のスポーツをすべてやめ、ひとつの競技に専念することと定義される(38)。高度に専門化された若年アスリートは、受傷がより多いことが明らかになっている(41,44)。アスリートが競技をやめる理由としてよく挙げるのは、傷害、バーンアウト、時間の都合、および他の活動への関心である(13)。

提言

若年者が安全にランニングに参加できるかどうか判断するには、個々の若年ランナーの心理学的発達、モチベーション、および準備状態を評価することが重要である。傷害の再発やバランスを欠いたトレーニング、および回復不足がないかモニタリングすることが、バーンアウトの特定に役立つ。若年者が競技種目を特化することは、パフォーマンスの向上に繋がらないと考えられ、多くの場合、競技をやめるリスクが増加する一因となる。

若年ランナーの適切なカロリー摂取をスクリーニングする方法はあるか？

アスリートの摂取エネルギー(EI)が十分であるかどうかは、若年者のランニングを含め、痩せていることに価値が存在すると信じられることがある競技においては特に懸念される点である。利用可能エネルギー(EA)(28)とは、運動による消費後に残る、通常の生理学的機能のためのエネルギーを指す。EAは伝統的に、EIから運動による消費エネルギーを差し引いて、除脂肪体重(FFM)で標準化したものと定義される(19,39)。女性を対象とした研究において、EAは1日に最低30 kcal/kg FFMが必要であり、EAがそれ以下になると代謝および内分泌機能の指標に変化が生じることが示唆されている(28)。特に成長と発達にもエネルギーを必要とする若年アスリートにおいては、1日に45 kcal/kg FFMの十分なEAを確保することがより適切と考えられる(2)。一方、男子ランナーの具体的なカットオフ値(基準値)は特定されていない。適切なEAの閾値には個人差があると考えられる。EAの不足は、健康とパフォーマンスに重大な結果をもたらすおそれがある(36)。しかし、アスリートのEIおよびEAが適切であるか特定するのは容易ではない。食事やトレーニングの思い出し調査は不正確になりやすく、また直接測定するのはコストと手間がかかる(20)。そのため、EA不足を評価する代理指標が重要となる(1)。

EAが不足すると、健康状態とランニングパフォーマンスの低下に繋がる。EA不足、月経異常、および低BMDの相互作用は、女性アスリートの三主徴として知られる(39)。また国際オリンピック委員会(IOC)は、スポーツにおける相対的エネルギー不足(RED-S)という新たな用語を打ち出している(34,36)。RED-Sとは、EA不足の結果として、アスリートの男女ともに起こりうる健康とパフォーマンスへの影響を指す。思春期および若年成人の女子アスリート1,000名を対象に、各自の健康状態と競技パフォーマンスについて質問を行なった研究において、摂食障害／異常な食行動に関する質問項目への肯定的な回答をEA不足／RED-Sの代理指標として用いたところ、それらはRED-Sモデルにおいて定義された健康状態およびパフォーマンスの低下と正の相関関係にあった(1)。またRED-Sモデルは、成長と発達がEA不足によって悪影響を受けていることを明らかにしており(34,36)、そのため成長曲線をモニタリングすることで、成長と競技参加の両方のニーズが満たされていることを確認しなくてはならない。

EA不足は、摂食障害／異常な食行動の問題がなくても起こりうる。Preparticipation Physical Evaluation(参加前の健康診断)を実施する際に、摂食障害／乱れた摂食に関連づけられる行動をスクリーニングし(4,22)、またコーチやストレングス＆コンディショニング(S&C)専門職など、若年アスリートとかかわる者が適切な栄養摂取をモニタリングすべきである。より年長の女性アスリートにおいて妥当性が実証されているものとして、Low Energy Availability in Females Questionnaire(女性の利用可能エネルギー不足に関する質問票)が開発されており、これはアスリートのEA不足と三主徴のリスクを特定することを目的として、主に傷害と、胃腸および生殖の機能に焦点を当てている(32)。その他、三主徴の累積リスク評価(Triad-CRA：Female Athlete Triad Cumulative Risk Assessment)(12)、およびRED-Sのスクリーニングツール(RED-S CAT：Relative Energy Deficiency in Sport Clinical Assessment Tool)(35)が開発されている。若年ランナーを対象とした研究は不足しているが、Triad-CRAにおいて中リスクと高リスクに分類された大学生ランナーは、それぞれ50％と71％が1年以内に骨ストレス障害(BSI)を起こした(55)。これらの結果は、三主徴の累積的な危険因子が思春期の女子ランナーにおける疲労骨折のリスクを高めることを示唆した先行研究と一致する(57)。また男子大学生ランナーを対象とした同様の研究では、修正版のTriad-CRA(月経歴の項目を除外)のスコアが高いことが、BSIの高い発生率を予測していた(25)。一方、RED-S CATはTriad-CRAほどテストされていないが、思春期および若年成人の女子アスリート1,000名を対象とした研究では、この2種類のスクリーニングツールは中／高リスク者の分類結果がよく一致していた(21)。

提言

若年ランナーは男女を問わず、EA不

足および三主徴／RED-Sの健康指標について、Triad-CRAやRED-S CATなどのツールを用いたスクリーニングを受けるべきである。体格指数(BMI)と体重(%中央BMIと予想される体重のパーセンタイル)を算出し、各自の成長曲線に細心の注意を払う必要がある。女子ランナーについては全員の詳細な月経歴を取得し、男子ランナーについてはテストステロンレベルの低下を示す指標(早朝勃起の消失など)をスクリーニングする。リスクが高いと判断された若年ランナーは、精密検査を受けて月経異常や骨の健康状態の低下をチェックし、EAを高めるためにスポーツ栄養士の指導を受けなくてはならない。摂食障害／異常な食行動を早期に認識し治療することは、生涯にわたる健康と競技寿命のために重要である。

若年ランナーは成長のスパート期に傷害リスクが高まるか？

成人と比べて思春期のランナーに固有の留意点は、身体が成熟途上にあることである(8,23,24,27,37)。特に傷害リスクに寄与しうる2つの重大な要因は、身長の最大成長速度(PHV)と骨塩量の変化である。PHVの発現年齢は平均で男子が14歳、女子が12歳である(27)。PHVとは、長骨の長さが筋-腱-骨複合体よりも比較的速く変化し、成長が急速に進む時期である(8,24)。一方、骨塩沈着の増加は通常、PHV後に起こり、男子は16～18歳、女子は12～14歳である(14,50)。さらに重要な点として、骨塩量はPHVが起こる直前の時期に最も少なく(14)、成人の骨塩量の半分近くが思春期に獲得される(6)。骨、腱、筋、軟骨、および骨端線の変化速度がそれぞれ異なることが、成熟途上にある若年ランナーのランニングのバイオメカニクスと負荷に対する耐性に影響を及ぼし、それが若年ランナーの傷害リスクを高める可能性があることが理論化されている(24)。このように成長スパート期には傷害リスクが高まる可能性があるため、トレーニング量を慎重にモニタリングすることで、骨が活発に成長している時期のリスクを低減する必要がある(13)。

提言

適切なランニングのトレーニングおよび競技プログラムでは、暦年齢よりもアスリート個人の成長と発達を考慮すべきである。

若年ランナーの競技開始に適した年齢、および適切なレース距離は？

若年ランナーの年齢に応じた適切なレース距離に関して、科学的根拠に基づくガイドラインは存在しない。若年ランナーがハーフおよびフルマラソン距離を含む持久系競技に出場する要件については、意見が分かれている。現在のところ、若年ランナーとその親に向けた助言には、専門家の見解と個人のバイアスが混在している。安全なレースの距離とペースを判断するには、正常な成長と発達に加え、心理状態を考慮しなくてはならない。

これまでの数少ない報告は、若年ランナーが長距離レースに安全に参加できることを示唆している。過去26年間にTwin Cities Marathon(ツインシティーズ・マラソン)を完走した7～17歳の若年ランナー310名のうち、フィニッシュエリアでの医療救護を必要としたのは4名のみで、その全員が軽症であった(49)。また高温下での開催となった2007年の同大会でも、出場した18歳未満の若年ランナー20名は1人も医療救護を必要とせず、その一方で、記録的な数の成人ランナーがレースを途中棄権したり、救護を必要とした(48)。2011～17年にかけて、さらに660名の18歳未満のランナーが同マラソンを完走したが、医療救護の件数は目立って増加していない。2018年には15歳のランナーが特に問題なく完走し、女性の一般部門で6位に入った(7)。Students Run LA(スチューデント・ラン・LA)プログラムでは、1989～2018年に6万3,000名を超える若年ランナーがマラソン距離を完走したが、有害な結果は報告されていない(10)。

提言

自発的に競技に参加する若年ランナーは、その競技会の運営規則が認めるかぎり希望のレース距離に出場してよいが、トレーニングにおける推奨事項として、監督下でトレーニングプログラムを実施すること、痛みや傷害のない状態を維持すること、適切な体重と身長の増加を継続させること、栄養摂取と睡眠を含む健康状態を維持すること、十分な社会交流と学業成績を維持すること、また女子は正常な月経機能を維持することが挙げられる(47)。

科学的根拠はないが、長距離走競技(ハーフおよびフルマラソンなど)では、18歳未満の若年層のタイムを記録として残さず、また子どもや思春期のランナーの参加を広く告知しないことが望ましい。長距離走競技では、若年ランナーは必ず成人と一緒に参加し、また容易に「群衆に埋もれる」ような大規模イベントへの参加を避けるべきである。若年アスリートが長距離レースに参加するにあたっては、栄養と水分の補給をモニタリングすることが重要であり、またレースは日の出直後にスタートするものを選び、日中の暑さを避けることが推奨される(47)。

若年ランナーに推奨されるのは どのようなシューズか？

ヒトは約200万年前から長距離を走るようになり、最古の履き物の痕跡は1万年前に出現している(11)。これら初期の靴は、ヨモギ属の低木の樹皮を編んで作られており、足裏を保護する平らな底部と、それを足部に固定する紐でできていた。ヒトの足部は複雑な構造をしており、26の骨と33の関節で構成され、そのすべてが6自由度の運動を有する。足部は20以上の筋からなり、うち10の筋が土踏まずに存在して着地時の足部を支持している。この複雑かつ柔軟な構造が足部に高い適合性をもたらし、支持期には負荷を軽減する柔軟な構造として、また離地期には固いてことして作用する。そのため足部は元来可動性が高く、靴を履かなくても歩行や走行に非常によく適合している。

現代のシューズがサポート性を増していることで、足部への要求が減少し、足部の筋力が低下している。これを裏付ける根拠は、現代的なシューズを履かない集団から得られる。インドの子ども2,300名を対象とした研究において、日常的に裸足で過ごしている子どもは、靴を履いている子どもに比べて扁平足の発生率が低いことが明らかになった(42)。またケニアの子どもを対象とした別の研究では、日常的に裸足で過ごしている子どものほうが足部の筋力が高く、下肢の傷害発生率が有意に低かった(3)。クッション性を高めた現代のシューズは、ランナーの着地のメカニクスに変化をもたらす。クッションの効いたシューズで走っていると、常に裸足で走っているランナーのように母指球で着地するのでなく、かかとで着地する傾向が強まることが研究で明らかになっている(26)。かかとで着地すると力の伝達が急激に増加し(45)、これは成人ランナーにおいて筋骨格系のオーバーユース障害に関連づけられている(17,33,40)。

現代のミニマリストシューズは裸足歩行を模倣し、サポートやクッション性を排除するようデザインされている。成人を対象とした研究において、歩行とランニングをミニマリストシューズに切り替えたところ、土踏まずの筋群の筋サイズと筋力が増大したことが明らかになっている(9,46)。さらに、常にミニマリストシューズでランニングをする人は、かかとでの着地が少ないと考えられ、これは着地衝撃の緩和に繋がる。

提言

若年ランナーには、足部と足関節にかかわる筋力を高める方策が有益である。ミニマリストシューズの着用は、足部と足関節にかかわる筋力向上と着地衝撃の緩和を促進する可能性がある。現在、従来のクッション性のあるシューズを着用していて、ミニマリストシューズへの移行を希望する若年ランナーは、追加の筋力向上を実施すべきである。足部と足関節にかかわる筋力を高め、常にミニマリストシューズを履くことに順応するプロセスには何ヵ月もの時間を要する場合がある。裸足での歩行や、競技以外でのミニマリストシューズの着用を推進すると、このプロセスを強化するのに役立つ可能性がある。

結論

若年ランナーは、成人ランナーとは異なる固有のニーズを有する。年齢と成熟度を考慮することで、若年者が安全にランニングに参加し、競技がもたらす健康増進の効果を獲得することが可能となる。S&C専門職をはじめ若年ランナーの指導にあたる者は、若年者が早期にランニングに特化するよう推奨すべきでない。ジャンプ運動や多方向の負荷を伴うスポーツへの参加は、若年ランナーの骨の健康状態を促進する効果が期待できる。若年ランナーを心理的にサポートすることは、傷害、オーバートレーニング、およびバーンアウトを回避する上で重要である。思春期などの成長が急速に進む時期には、若年ランナーの傷害リスクが高まる可能性がある。適切な栄養摂取を推進し、異常な食行動と月経異常をスクリーニングすることが、ランナーの健康のために重要である。安全なレース距離を決定するには、ランナーの成熟度を評価する必要があり、ハーフおよびフルマラソンのような長距離の競技に参加する場合は特に注意を要する。足部の筋力強化と着地のメカニクスの向上は、筋骨格系の強化に役立つ可能性がある。本稿の提言は、主に専門家の見解に依拠しており、今後さらなる研究によって、若年ランナーのための科学的根拠に基づくガイドラインを作成することが求められる。◆

References

1. Ackerman KE, Holtzman B, Cooper KM, et al. Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *Br J Sports Med* 53: 628–633, 2019.
2. Ackerman KE, Misra M. Amenorrhoea in adolescent female athletes. *Lancet Child Adolesc Health* 2: 677–688, 2018.
3. Aibast H, Okutoyi P, Sigei T, et al. Foot structure and function in habitually barefoot and shod adolescents in Kenya. *Curr Sports Med Rep* 16: 448–458, 2017.
4. American Academy of Family Physicians; American Academy of Pediatrics; American College of SportsMedicine; American Medical Society for Sports Medicine; American Orthopaedic Society for Sports Medicine;

and American Osteopathic Academy of Sports Medicine. *Preparticipation Physical Evaluation* (4th ed). Bernhardt D, Roberts W, eds. Elk Grove Village, IL: American Academy of Pediatrics, 2010.
5. Appleton PR, Hall HK, Hill AP. Examining the influence of the parent-initiated and coach-created motivational climates upon athletes' perfectionistic cognitions. *J Sports Sci* 29: 661–671, 2011.
6. Baxter-Jones AD, Faulkner RA, Forwood MR, Mirwald RL, Bailey DA. Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: An estimation of peak bone mass. *J Bone Miner Res* 26: 1729–1739, 2011.
7. Blount R. *Tierney Wolfgram, 15-Year-Old from Woodbury, Finishes Sixth in Twin Cities Marathon*, 2018. Star Tribune. Publication date: October 8, 2018. URL: http://www.startribune.com/tierney-wolgram-15-year-old-from-woodbury-finishes-sixth-in-twin-cities-marathon/495583911/.
8. Brenner JS and AAP council on sports medicine and fitness. Sports specialization and intensive training in young athletes. *Pediatrics* 138: e20162148, 2016.
9. Chen TL, Sze LK, Davis IS, Cheung RT. Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 36: 8–13, 2016.
10. Cole TJ, Flegal KM, Nicholls D, Jackson AA. Body mass index cut offs to define thinness in children and adolescents: International survey. *Br Med J* 335: 194, 2007.
11. Davis IS. The re-emergence of the minimal running shoe. *J Orthop Sports Phys Ther* 44: 775–784, 2014.
12. De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, et al. 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, 2014.
13. DiFiori JP, Benjamin HJ, Brenner JS, et al. Overuse injuries and burnout in youth sports: A position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Br J Sports Med* 48: 287–288, 2014.
14. Faulkner RA, Davison KS, Bailey DA, Mirwald RL, Baxter-Jones AD. Size-corrected BMD decreases during peak linear growth: Implications for fracture incidence during adolescence. *J Bone Miner Res* 21: 1864–1870, 2006.
15. Ferry B, Duclos M, Burt L, et al. Bone geometry and strength adaptations to physical constraints inherent in different sports: Comparison between elite female soccer players and swimmers. *J Bone Miner Metab* 29: 342–351, 2010.
16. Fredericson M, Ngo J, Cobb K. Effects of ball sports on future risk of stress fracture in runners. *Clin J Sport Med* 15: 136–141, 2005.
17. Futrell EE, Jamison ST, Tenforde AS, Davis IS. Relationships between habitual cadence, footstrike, and vertical load rates in runners. *Med Sci Sports Exerc* 50: 1837–1841, 2018.
18. Gunter K, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, et al. Jump starting skeletal health: A 4-year longitudinal study assessing the effects of jumping on skeletal development in pre and circum pubertal children. *Bone* 42: 710–718, 2008.
19. Hoch AZ, Pajewski NM, Moraski L, et al. Prevalence of the female athlete triad in high school athletes and sedentary students. *Clin J Sport Med* 19: 421–428, 2009.
20. Holtzman B, Ackerman KE. Measurement, determinants, and implications of energy intake in athletes. *Nutrients* 11: 665, 2019.
21. Holtzman B, Tenforde AS, Parziale AL, Ackerman KE. Characterization of risk quantification differences using female athlete triad cumulative risk assessment and relative energy deficiency in sport clinical assessment tool. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 1–7, 2019 [Epub ahead of print].
22. Joy E, Kussman A, Nattiv A. 2016 update on eating disorders in athletes: A comprehensive narrative review with a focus on clinical assessment and management. *Br J Sports Med* 50: 154–162, 2016.
23. Krabak BJ, Snitily B, Milani CJ. Running injuries during adolescence and childhood. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 27: 179–202, 2016.
24. Krabak BJ, Tenforde AS, Davis IS, et al. Youth distance running: Strategies for training and injury reduction. *Curr Sports Med Rep* 18: 53–59, 2019.
25. Kraus E, Tenforde AS, Nattiv A, et al. Bone stress injuries in male distance runners: Higher modified Female Athlete Triad Cumulative Risk Assessment scores predict increased rates of injury. *Br J Sports Med* 53: 237–242, 2019.
26. Lieberman DE, Castillo ER, Otarola-Castillo E, et al. Variation in foot strike patterns among habitually barefoot and shod runners in Kenya. *PLoS One* 10: e0131354, 2015.
27. Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Myer GD, De Ste Croix MB. Chronological age vs. biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *J Strength Cond Res* 28: 1454–1464, 2014.
28. Loucks AB, Thuma JR. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *J Clin Endo Metabol* 88: 297–311, 2003.
29. MacKelvie KJ, Khan KM, McKay HA. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? A systematic review. *Br J Sports Med* 36: 250–257, 2002; discussion 257.
30. Madigan DJ, Stoeber J, Passfield L. Perfectionism and training distress in junior athletes: A longitudinal investigation. *J Sports Sci* 35: 470–475, 2017.
31. Mehl AJ, Nelson NG, McKenzie LB. Running-related injuries in school-age children and adolescents treated in emergency departments from 1994 through 2007. *Clin Peds* 50: 126–132, 2011.
32. Melin A, Tornberg AB, Skouby S, et al. The LEAF questionnaire: A screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *Br J Sports Med* 48: 540–545, 2014.
33. Milner CE, Ferber R, Pollard CD, Hamill J, Davis IS. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Med Sci Sports Exerc* 38: 323–328, 2006.
34. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, et al. The IOC consensus statement: Beyond the female athlete triad—Relative energy deficiency in sport (RED-S). *Br J Sports Med* 48: 491–497, 2014.
35. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, et al. RED-S CAT. Relative energy deficiency in sport (RED-S) clinical assessment tool (CAT). *Br J Sports Med* 49: 421–423, 2015.
36. Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM, et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br J Sports Med* 52: 687–697, 2018.
37. Myer GD, Faigenbaum AD, Ford KR, et al.

When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Curr Sports Med Rep* 10: 155–166, 2011.
38. Myer GD, Jayanthi N, Difiori JP, et al. Sport specialization, Part I: Does early sports specialization increase negative outcomes and reduce the opportunity for success in young athletes? *Sports Health* 7: 437–442, 2015.
39. Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, et al. The female athlete triad position stand American Colleague of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1867–1882, 2007.
40. Pohl MB, Hamill J, Davis IS. Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners. *Clin J Sport Med* 19: 372–376, 2009.
41. Post EG, Bell DR, Trigsted SM, et al. Association of competition volume, club sports, and sport specialization with sex and lower extremity injury history in high school athletes. *Sports Health* 9: 518–523, 2017.
42. Rao UB, Joseph B. The influence of footwear on the prevalence of flat foot: A survey of 2300 children. *J Bone Joint Surg Br* 74: 525–527, 1992.
43. Rauch F, Schoenau E. Changes in bone density during childhood and adolescence: An approach based on bone's biological organization. *J Bone Miner Res* 16: 597–604, 2001.
44. Rauh MJ, Tenforde AS, Barrack MT, Rosenthal MD, Nichols JF. Association between sport specialization, running-related injury, and menstrual dysfunction among high school distance runners. *Ath Train Sports Health Care* 10: 260–269, 2018.
45. Rice HM, Jamison ST, Davis IS. Footwear matters: Influence of footwear and foot strike on load rates during running. *Med Sci Sports Exerc* 48: 2462–2468, 2016.
46. Ridge ST, Olsen MT, Bruening DA, et al. Walking in minimalist shoes is effective for strengthening foot muscles. *Med Sci Sports Exerc* 51: 104–113, 2019.
47. Roberts WO. Children and running: At what distance safe? *Clin J Sport Med* 15: 109–110, 2005. author reply 110–101.
48. Roberts WO. Determining a "do not start" temperature for a marathon on the basis of adverse outcomes. *Med Sci Sports Exerc* 42: 226–232, 2010.
49. Roberts WO, Nicholson WG. Youth marathon runners and race day medical risk over 26 years. *Clin J Sport Med* 20: 318–321, 2010.
50. Sabatier JP, Guaydier-Souquieres G, Benmalek A, Marcelli C. Evolution of lumbar bone mineral content during adolescence and adulthood: A longitudinal study in 395 healthy females 10-24 years of age and 206 premenopausal women. *Osteoporos Int* 9: 476–482, 1999.
51. Smith RE. The dynamics and prevention of stress-induced burnout in athletics. *Prim Care* 11: 115–127, 1984.
52. Specker BL, Wey HE, Smith EP. Rates of bone loss in young adult males. *Int J Clin Rheumtol* 5: 215–228, 2010.
53. Stoeber J, Madigan DJ, Damian LE, Esposito RM, Lombardo C. Perfectionism and eating disorder symptoms in female university students: The central role of perfectionistic self-presentation. *Eat Weight Disord* 22: 641–648, 2017.
54. Teegarden D, Proulx WR, Martin BR, et al. Peak bone mass in young women. *J Bone Miner Res* 10: 711–715, 1995.
55. Tenforde AS, Carlson JL, Chang A, et al. Association of the female athlete triad risk assessment stratification to the development of bone stress injuries in collegiate athletes. *Am J Sports Med* 45: 302–310, 2017.
56. Tenforde AS, Fredericson M. Influence of sports participation on bone health in the young athlete: A review of the literature. *PM R* 3: 861–867, 2011.
57. Tenforde AS, Sayres LC, McCurdy ML, Sainani KL, Fredericson M. Identifying sex-specific risk factors for stress fractures in adolescent runners. *Med Sci Sports Exerc* 45: 1843–1851, 2013.
58. Vlachopoulos D, Barker AR, Ubago-Guisado E, Williams CA, Gracia-Marco L. The effect of a high-impact jumping intervention on bone mass, bone stiffness and fitness parameters in adolescent athletes. *Arch Osteoporos* 13: 128, 2018.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 42, Number 1, pages 76-82.

著者紹介

Adam S. Tenforde：
Spaulding Rehabilitation Hospitalのスポーツ医でランニング医学科医長、およびHarvard University医科大学院のリハビリテーション医学科助教を務める。

William O. Roberts：
University of Minnesota医科大学院の家庭医療・地域保健学科の教授で教員人事責任者。

Brian J. Krabak：
University of WashingtonおよびSeattle Children's Hospitalの臨床教授でスポーツ医。

Irene S. Davis：
Spaulding National Running Centerのディレクターで、Harvard University医科大学院のリハビリテーション医学科教授を務める。

Michael Fredericson：
Stanford Universityスポーツ医学局リハビリテーション医学科の教授および医長で、同大学の陸上競技ヘッドチームドクターを務める。

Anthony C. Luke：
University of California（サンフランシスコ）のプライマリケアスポーツ医学科医長で、同大学のスポーツ医学Benioffディスティングイッシュトプロフェッサー。

Kathryn E. Ackerman：
Boston Children's Hospitalの女性アスリート科医長、およびMassachusetts General Hospitalのスポーツ内分泌学研究室の副室長で、Harvard University医科大学院の内科学助教を務める。