©NSCA JAPAN
Volume 30, Number 1, pages 47-56

Key Words【シューズ：footwear、ミニマリスト：minimalist、ランニング：running、ランニングエコノミー：running economy、ランニングパフォーマンス：running performance、ランニング関連障害：running-related injury】

ランニングのパフォーマンスと障害に及ぼすミニマリストシューズの影響

Influence of Minimalist Footwear on Running Performance and Injury

Evan Andreyo, [1] PT, DPT, OCS, SCS　**Casey Unverzagt,** [2] PT, DPT, D.Sc., OCS, SCS
Brad J. Schoenfeld, [3] Ph.D., CSCS, CSPS, FNSCA
[1]Doctor of Philosophy in Health Sciences Degree Program, Rocky Mountain University of Health Professions, Provo, Utah
[2]Department of Physical Therapy, Robbins College of Health and Human Sciences, Baylor University, Waco, Texas
[3]Department of Health Sciences, CUNY Lehman College, Bronx, New York

要約

ランナーや臨床医は、長年にわたり、長距離走のパフォーマンスを向上させランニング関連障害の発生を減じる方法を模索してきた。その際、シューズの選択はしばしば重要視され、研究や実践現場では今でもよく論争の的となっている。特に、ミニマリストシューズの利用は、過去数十年にわたり人気が変動し、一部の支持者は、ランニングエコノミーの改善と障害発生率の低下を促進できると提言している。しかし、研究論文を精査してみると、単純で一貫性のある提言ばかりではないことがわかる。本稿の目的は、ミニマリストシューズがランニングパフォーマンスと障害に及ぼす影響について、特にランニングメカニクスへの影響に焦点を当てて概説することである。また、ミニマリストシューズへの移行が理想的なクライアントは誰か、また移行中の障害リスクを最小限に抑える方法は何かを明らかにすることも目的とする。

はじめに

ランニングというスポーツは、競技レベルでもレクリエーションレベルでも大いに人気が高まっている。いかなるレベルであれ、ランニングに参加しようと決めた人は、しばしば、障害を避けながらパフォーマンスを最大限に高めようと努力する。報告によると、ランニング関連障害の発生率は26.0～92.4％で、特にランニングの初心者では84.9％と高いことが報告されている(23,32)。このような統計値の開きは、ランニング関連障害の標準的な定義がないことが原因のひとつであり、ある研究は下肢の障害のみを数え、他の研究は脱水や疲労などの問題まで関連障害に含めている(23)。著者によっては、ランニング時間に対するランニング障害数を評価し、初心者ランナーではランニング1,000時間当たり33.0件の障害が発生していることを報告した(61)。ランニング関連障害の発生率が高いことを背景に、ランナーが障害を負わずに最高のパフォーマンスを発揮するための方法を明らかにする調査は、現在もなお続いている。

ランナーのパフォーマンスを向上させ、障害リスクを低下させるために、シューズの選択に注目が集まっている。技術の進歩に伴い、シューズメーカーが提供できる機能にも大きな変化がみられるようになった。シューズが進化するにつれて、ランニング用シューズも、サポート性の高いシューズと低いシューズの間を揺れ動いている。特に、ミニマリストシューズは、過去20年間にわたり人気が変動し、発表された諸研究においても大きな論争が続いている。本稿の目的は、ミニマリストシューズがランニングパフォーマンスおよび障害に及ぼす影響について、特にランニングメカニクスへの影響に焦点を当てて概説することである。さらに、障害リスクを最小限に抑えながら、ミニマリストシューズへの移行に適したクライアントを特定するための提言も取り上げる。

シューズによる違いを理解する

シューズはメーカーや機能によって大きな違いがある。しかし本稿では、ミニマリスト、従来型(コンベンショナルまたはトラディショナル)、マキシマリストの3つのカテゴリーを使用して

シューズの違いを説明する。各カテゴリーの代表的な例を**写真1**に示す。ミニマリストシューズは、「柔軟性が高く、ヒール・ツー・トウ・ドロップが小さく、軽量でスタックハイトが低く、運動制御や安定性の機能が備わっていないことにより、足の自然な動きに最低限しか干渉しないシューズ」と定義されている(15)。ここで、スタックハイト(stack height)とは、シューズのミッドソールの厚さと定義でき、ヒール・ツー・トウ・ドロップ(heal-to-toe drop)は、シューズの後部から前部までのミッドソールの高低差と定義できる(15)。ファッション性と安定性が高く、かかとからつま先までの高低差のあるシューズは、従来型ランニングシューズと呼ばれる(3)。従来型ランニングシューズは、通常、プロネーション(回内)をコントロールし、初期接地の地面反力を吸収することを意図して設計されており、ミッドソールの硬さや素材も様々である(25,33)。従来型シューズはさらにクッション性、安定性、運動制御の3種類に大きく分類され、ランナーのアーチ高や静止姿勢での足のプロネーションの程度に応じて処方されることが多い。静止姿勢の評価とは、立位で足の位置や傾きを評価するが、走行時の負荷や姿勢の動的変化による足の変化は考慮しない。しかし、ランナーの足部アーチに基づく従来型シューズの処方が、障害低減に効果的なシューズの選択方法であることは、まだ証明されていない(25,33)。

特に最近、ランニングの世界ではマキシマリストシューズが人気を集めている。マキシマリストシューズは、従来のものよりさらに厚いミッドソールにより、相当大きなクッション性と衝撃低減効果をもたらすように設計されている(56)。Sunら(59)は、クッション性を高め、ミッドソールを厚くしたシューズは、ランニングに伴う地面反力の吸収能力が一層優れていると示唆している。しかし、現在の研究ではこの考え方は疑問視され、より柔らかい、またはより厚いミッドソールを使用したランナーの障害発生率やランニングメカニクスには改善が認められないことが指摘されている(6,60)。これまでに、各シューズを分類する決定的な変数を示した研究者はいないが、**表1**には、ミニマリスト、従来型、マキシマリストの各シューズの相違点に関する基本的な特徴がまとめられている。

シューズの構造にはかなりバリエーションがあり、現代のシューズには一見無数の機能や選択肢があるように思われるため、シューズの種類を分類することは困難である。Esculierら(15)は、シューズを3種類に厳密に分類する代わりに、より広い範囲で評価し、**表1**に示された特徴の有無に基づいてミニマリスト指数を示すことを提案している。ミニマリスト指数は、広く認識されている特徴を考慮し、シューズの「ミニマリスト」度を数値化するために用いられる妥当性と信頼性の高い評価尺度である。この尺度を用いれば、あるミニマリストシューズが、他のシューズとは大きく異なる可能性を考慮できる。この尺度の欠点は、すべての変数が等しく考慮されるため、ミッドソールの高さが高く、かかとからつま先までの高低差が少ないシューズが、逆の特性をもつシューズと同じスコアになってしまうことである。この尺度は、ランナーや臨床医に、すべてのミニマリストシューズが同じように作られているわけではないことを気づかせてくれるが、それでもなお、個々の特徴をさらに評価することが肝要である。

ミニマリストシューズや(裸足での)ベアフットランニングへの関心は明らかに高まっており、2012年の調査データでは、80.2%のランナーがベアフットランニングまたはミニマリストシューズでのランニングに少なくともいく

ミニマリストシューズ　従来型シューズ　マキシマリストシューズ

写真1　本稿で解説しているシューズの具体例

表1　ミニマリスト、従来型、マキシマリストの各シューズの主な構造の違い

シューズの種類による構造の違い			
	ミニマリスト	従来型	マキシマリスト
かかとからつま先の高低差	0～6mm	>10mm	0～16mm
主要機能	安定性または運動制御機能は含まない	種類により異なるが、安定性または運動制御機能を含む	種類により異なるが、安定性または運動制御機能を含む
クッション性	最小限か全くない	種類により異なるが、ミニマリストに比べると高い	かなりクッション性が高い
ミッドソールの厚さ	0～22mm	23～32mm	>32mm

らかは関心があると回答した。また、従来型シューズからミニマリストシューズに履き替えたランナーのうち、34.3%が「将来の障害予防のため」と回答し、また、20.8%が、ランニングパフォーマンスの向上に期待したことが動機であると回答した(51)。

ミニマリストシューズが脚光を浴びるようになったのは、ベアフットランニングの人気が高まったことがきっかけである。2009年に発行された『Born to Run(邦題：走るために生まれた)』という書物で、裸足で走ることが人間の本来の走り方ではないかと指摘されたことがきっかけで、ベアフットランニングに注目が集まるようになった(39)。その後、障害の低減やランニングエコノミーを向上させることが指摘され、ベアフットランニングの人気が高まった(34,45)。しかし、近代的な地形を裸足で走ることの意味を実体験し、実用性が問われるようになると、ベアフットランニングに対する過熱は急速に冷めていった(1,29)。

ミニマリストシューズは、ベアフットランニングの利点を再現すると同時に、シューズを履かずに走ることで起こりがちな脚部外側の発症リスクを下げるために導入された。Nike FreeやVibram Five Fingersなどのシューズは、2000年代前半に生産が始まり、その後10年間で人気が高まった(12)。しかし、ミニマリストシューズでのランニングとベアフットランニングを比較した研究では、両者には、バイオメカニクスとランニングエコノミーに大きな違いがあることが示されている(3,17,45)。これらの研究では、ベアフットランニングの利点がシューズを履いた状態でも本当に再現可能かが問われた。ミニマリストシューズを履いた状態と裸足の状態でのランニングに相当な差があるならば、ミニマリストシューズがなお有利なのかを問い直さねばならない。

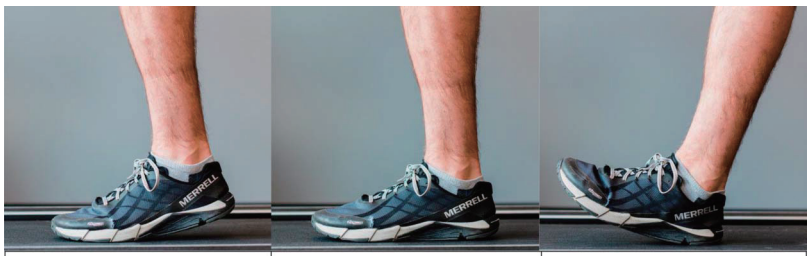
ランニングメカニクス

接地パターン

ミニマリストシューズがパフォーマンスや障害に及ぼす潜在的な影響を見極めるには、ランニングメカニクスへの影響を評価することが必要である。ランニングに関する研究では、足がどのように接地するかが注目され、必須の検討事項となっている。この接地パターンの違いは、Cavanaughら(5)により、足の後方1/3から接地を始めるヒールストライク(リアフットストライク)、足の前方1/3から接地を始めるフォアフットストライク、および、最初に中足部1/3で接地するミッドフットストライクに分類され定義される。**写真2**は、接地パターンの違いを示している。従来のランニングシューズを履いているランナーは、かかとから接地することが多く、これはヒールストライクと呼ばれる(1)。Liebermanら(34)は、ベアフットランナーやミニマリストシューズを履いたランナーは、ミッドフットまたはフォアフットストライクパターンを示す傾向があることを示唆した。フォアフットストライクパターンは、初期接地において足関節をより底屈させる必要があり、これは従来型およびマキシマリストシューズで走る場合と比較して、ミニマリストシューズで走る場合に多く観察されている(56)。

多くの研究者が、フォアフットまたはミッドフットの接地パターンが様々なレベルで有利であると提唱している。フォアフットストライクは、地面反力を減衰させ、初期接地における鉛直方向の衝撃力のピークフォースを減少させることができる(34,36,45,58,68)。鉛直方向の衝撃力の変化は、従来型シューズと比較して負荷率が低下することに起因する可能性が高い(11)。逆に、マキシマリストシューズは、従来型シューズに比べ、衝撃力と負荷率が増加することが証明された(47)。また研究者らは、フォアフットまたはミッドフットストライクは、ストライド頻度の増加とストライド長の減少を促し、それがランニングエコノミーの向上と累積的な着地衝撃力の減少に繋がる可能性があると示唆した(8,21,56)。ストライド頻度がたとえわずかでも増加すると、股関節と膝関節への負荷を大幅に減らすことができ、同時に、脛の障害や前膝痛の発生率も低下する(28,37)。ストライド長の減少とストライド頻度の増加は、ミニマリストシューズの使用と相関関係があることが研究により示されている(21,56)。

ミニマリストシューズを履いて走ると、接地パターンが変化するという主張はすでに精査されている。ミニマリストシューズを履いた場合、ランナーはフォアフットストライクで走る傾向が生じると示唆した研究もあるが、短期および長期にわたる複数の調査結果からは、リアフットストライクパターンがなお一般的であることが示されている(18,21,26,58)。リアフットストライクの割合は、従来のランニングシューズでは89～94.3%であるのに対し、



フォアフットストライク | ミッドフットストライク | リアフット(ヒール)ストライク

写真2　本稿で概説している、初期接地における潜在的な3種類の接地パターン

ミニマリストシューズでは62.9～88.6％と報告されている(1,29)。Chambon(6)は、0～16mmの範囲のミッドソールの様々な厚さにおいて、ランニングパターンに全く変化がないことを確認した。同じ研究で、接地パターンの変化は、シューズを履いた状態と裸足の状態とを比較した場合だけで観察されることが報告された(6)。Debugneら(13)の研究が、自然なリアフットストライクのランナーを調査することで、この主張を裏づけた。著者らは、裸足のみが初期接地にフォアフットストライクであり、ミニマリストシューズと従来型シューズの条件では、相互に有意差はないことを明らかにした。これらの知見を合わせると、どのシューズを履いて走っても足と地面が直接接触しないため、ベアフットランニングと比較すると、後足部における初期接地が促されることが示唆される(3,13)。

初期接地における足関節の位置

ミニマリストシューズによるランニングでは、フォアフットストライクへの明らかな変化は観察されないが、初期接地時の足関節の底屈または背屈の程度は、なお関連性があると思われる。複数の研究者が、様々な衝撃吸収素材と裸足の状態で、初期接地時の足関節の傾きの程度を比較した。かかとの衝撃吸収素材を増やすと、初期接地における足関節の背屈が大きくなり、リアフットストライクが明らかに増加する傾向がある(3,19,29,45,58)。しかし、ベアフットランニングやミニマリストシューズで走る場合に初期接地の足関節底屈がわずかに増加すると、たとえフォアフットストライクパターンでなくても、累積衝撃力の減少を促す可能性がある。Niggら(42)は、これは「好みの運動経路(preferred movement path)」によるものであると示唆している。この仮説的パラダイムでは、ランナーがシューズを変えることにより、運動の大きさは影響を受ける可能性があるが、実際の運動経路は、アスリート自身が選択した運動戦略に基づいているため変化しないと思われる。例えば、あるランナーは、シューズの厚みが薄くなると初期接地の背屈が減少する可能性はあるが、好ましい運動パターンとして、リアフットストライクが維持される。

膝関節の屈曲

関連性のあるもうひとつのバイオメカニクス的変数は、接地時とストライドの際に観察される膝の屈曲の大きさである。Davisら(11)は、初期接地に膝関節の屈曲を大きくすることで、膝蓋大腿部にかかる力を減少させることができると示唆した。さらに、立脚中期に膝関節の屈曲可動域を小さくすると、膝関節の発揮パワーが減少し、同時に足関節の発揮パワーが増加するため、膝におけるネガティブワークの総量を最小化できる(3)。一部の研究者は、従来型シューズと比較して、ミニマリストシューズ条件では、初期接地の膝関節の屈曲可動域が増加し、立脚時の膝関節の屈曲可動域が減少することを観察した(45,56,58)。これらの知見は、足関節をパワー発揮に利用することにより、膝関節の負荷が軽減される可能性を示唆している。しかし、これらの研究は、ミニマリストシューズと従来型のシューズとを比較した場合、膝関節の運動学に有意差がないことを示した先行研究の知見とは矛盾する(3,6)。先行研究の著者らは、提案されている膝関節の力学的変化は、ベアフットランニングのみで観察されることを示唆している。

ランニングパフォーマンス

ランニングエコノミー

ミニマリストシューズでのランニングで経験するバイオメカニクス的な変化が、ランニングパフォーマンスの向上と相関関係があるかは重要な検討課題である。パフォーマンスは様々な方法で評価できるが、多くの最新の研究では、ランニングエコノミーやタイムトライアルに焦点を当てている。ランニングエコノミーは通常、ランニングに関連するエネルギー要求を調査することによって測定される。これらの研究では、定常状態の酸素消費量と呼吸交換比を測定することによって、ランニング時のエネルギー要求を評価している。ランニングエコノミーが高いランナーほど、同じ速度で消費する総エネルギーも酸素量も少ない。ランニングエコノミーは、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2max$)よりも優れたパフォーマンスの予測因子とみなされる(55)。複数の研究がミニマリストシューズ、従来型シューズ、および裸足でのランニングエコノミーの違いを評価しようと試みた(7,21,22,45,46,59,64)。Cheungら(7)が行なった累計168名の被験者を含むメタ分析によると、ベアフットランニングやミニマリストシューズでのランニングは、従来型シューズでのランニングに比べ、酸素の利用率が低いことが明らかになった。Fullerら(20)およびWarneら(64)は、従来型シューズからミニマリストシューズに移行するそれぞれ6週間と4週間の期間中の酸素摂取量を評価した。両研究とも、ミニマリスト条件での酸素摂取量の減少が確認された。しかし、これらの研究では、従来型のランニングシューズに比べ、ミニマリスト条件ではランニングエコノミーが向上すると報告されたものの、確認された全体的な効果は小さかった。また他の研究は、ミニマリスト条件下の心拍数および主観的運動強度の低下に関するエビデンスが少ないことを示唆している(45)。

一方、反対の結果を示した研究論文もある。それらによると、フォアフットストライクパターンで接地するランナーのほうが酸素消費量が増加するこ

とが明らかになった(8,17,26)。この違いは、部分的には、ランナーが履き慣れたシューズで走ったかどうかが原因と思われる。裸足またはミニマリストシューズの条件下でのランニングエコノミーの向上を支持するCheungら(7)によるメタ分析では、被験者の73%が、裸足またはミニマリストシューズでのランニング経験があることを認めている。他の研究でも、代謝要求が、特定のランニング条件に対する個人の生理学的嗜好により強く決定づけられる可能性が示唆されている(8)。

タイムトライアルのパフォーマンス

コーチやアスリート、そして研究者にとって、標準化された距離でのランニングタイムは、ランニングパフォーマンスを決定する上で、より実用的な評価であると思われる。残念ながら、タイムトライアルによるランニングパフォーマンスを評価した研究は少数であり、合意は限定的である。Fullerらは、様々なシューズ条件で5kmのランニングパフォーマンスを評価した。この研究では、タイムトライアルのパフォーマンスの有意な向上は、ミニマリスト条件に有利であることが明らかとなった(20,21)。しかし、同研究室がその後行なった長期的な研究(18)では、タイムトライアルのパフォーマンスやランニングエコノミーに差がないことが判明した。兵士を対象とした別の研究(25)では、ミニマリストシューズの習慣的な着用者は、従来型シューズの着用者よりも2マイル(3.2km)走のタイムが速いことが示された。ところがこの研究では、ミニマリストシューズの使用者は、若干若く、ランニング以外の複数の評価においても全体的にパフォーマンスの向上を示していることから、シューズの違いよりも、群間の年齢差が結果に大きな影響を与えたと考えられる。Cheungら(7)は、ミニマリストシューズでのランニングやベアフットランニング条件で認められる酸素消費量の減少は、ランニングスピードを向上させる可能性があると推測しているが、この推測はまだ検証されていない。

パフォーマンス向上の仮説

ミニマリストシューズが従来型シューズに比べ、ランニングエコノミーを改善する理由として、複数の説明が示されている。そのひとつは、下腿三頭筋の弾性エネルギーの利用に関する仮説である。リアフットストライクによる接地が少ないランナーは、足のアーチと足底屈筋に蓄えられた弾性エネルギーをより多く利用できるため、ランニングエコノミーとパフォーマンスが向上する可能性がある(7,22)。2つ目の説明は、異なる接地パターンでみられる時間的・空間的変数に関連がある。ストライド長を短くし、ストライド頻度を多くすると、接地時間が短くなり、ランニングエコノミーとスピードの向上をもたらす(7,30,58)。ミニマリストシューズで走ることの3つ目の利点は、シューズの質量と関連がある。シューズの質量が100g増加するごとに、$\dot{V}O_2$の要求は1%増加する(17)。別の研究者らは、シューズの質量が増加するにつれて、ランニングの代謝コストが直線的に増加することを示唆している(22)。したがって、ミニマリストシューズは、シューズの重量の違いから、従来型シューズやマキシマリストシューズに比べ、酸素消費量を減少させる可能性がある(7,8)。

障害リスクに対する効果

仮説的な利益

ミニマリストシューズがランニング関連障害の発生を効果的に減少させるとよく主張されるが、これを評価することは非常に重要である。下肢の筋骨格系に限れば、いずれかの1年間に、従来型シューズを履いているランナーのうち最大79%が、障害を負っている(23)。前述したように、調査に参加した多くのランナーは、ミニマリストシューズに切り替えた最大の理由を、将来の障害予防であると回答している(51)。Ostermannら(44)の研究によると、従来型シューズからミニマリストシューズに変えたランナーは、障害の主観的な重症度が64%から38.3%に低下した。Gossら(24)は、従来型シューズを履いているランナーは、ミニマリストシューズを履いているランナーに比べ、障害を訴える確率が3.41倍高いことを明らかにした。

ミニマリストシューズでのランニングが障害の発生頻度を減少させるとの一般に広まっている仮説は、従来型シューズに比べ、接地時に膝関節や股関節にかかる力が少ないことに関連がある(56)。これらの変化は、提案されたケイデンス(1分間当たりの脚の回転数すなわちステップ数)の増加、ストライド長の減少、および/または足の接地パターンの潜在的な変化によるものと仮定される(8,28,37,56)。さらに、ミニマリストシューズでみられる走行時のケイデンスの増加は、前述のように、脛の障害と膝前部痛の発生率を減少させる可能性もある(37)。また、Edwardsら(14)は、ストライド長を短くすることで、疲労骨折が発生する確率が3～6%低減できると示唆した。なかには、ランニング関連障害のリスク評価に、接地パターンにより一層重点を置く研究もある(26,68)。接地パターンを比較すると、リアフットストライクのランナーはフォアフットストライクのランナーに比べ、中～重度の障害、特に反復性ストレス障害の割合が2倍近く多い(10)。フォアフットストライクパターンは、初期接地における膝の屈曲が大きく、立脚期の膝の屈曲が小さいため、膝関節にかかる負荷が減少し、膝蓋大腿部痛が減少すると思われる(1,11,45)。しかし、ミニマリ

ストシューズが常にフォアフットストライクをもたらすとは限らないことを考えると、これらの知見の適用範囲は限定されるだろう。

リスクを検討する

一部には、ミニマリストシューズを履いているランナーの障害発生率は、従来型シューズを履いているランナーよりも大きい可能性があると示唆する研究もある(52)。ミニマリストシューズで走ると、足関節にかかる地面反力と足底屈筋にかかる負荷が増加する(48)。さらに、ミニマリストシューズで走る場合には、中足骨全体にかかる負担が増加する結果も示されている(2,16)。フォアフットストライクの傾向として、中足骨頭や下腿三頭筋への負荷が増加する可能性もある(19,50,53,59)。また、ストライド頻度が増えることにより、これらの部分にかかる負荷が増加する可能性もある(8,21,56)。これらの部位で負荷が増加することを考えると、ミニマリストシューズで走ることにより、中足骨の疲労骨折やアキレス腱の炎症の可能性が高くなると思われる。興味深いことに、研究によると、最も障害発生率が高かったのは、ミニマリストシューズと従来型シューズの中間ともいえる、クッション性とミッドソールサポートをもつ、パーシャルミニマリストと呼ばれるシューズを履いて走った被験者であった(52)。著者らは、部分的なクッションは、シューズが本来提供する衝撃吸収力を低下させる可能性があり、一方、真のミニマリスト条件に伴う感覚-運動フィードバックを鈍らせるには十分であると示唆した。

ミニマリストシューズでのランニングのリスク因子

ミニマリストシューズでのランニングに伴うランナーの障害リスクは、様々な要因によって高まる可能性がある。従来型シューズからミニマリストシューズへの移行は、障害発生の重要因子であることが証明されている。複数の研究から、従来型シューズからミニマリストシューズに移行する際、特に最初の5週間の障害発生率が高くなることが明らかになっている(20,53)。Salzerら(53)は、報告されている移行期の障害発生率の高さは、推奨される移行ガイドラインが十分守られないことに関係があるのだろうと指摘した。これらの結果は、ミニマリストシューズでのランニングへの移行の可能性において、漸進的なトレーニングと適応の重要性を強調するものであり、この点については本稿の後の部分で取り上げる。

ミニマリストシューズでみられる障害発生率を評価する際には、体格指数(BMI：Body mass index)を考慮する必要がある。BMIの増加は、着用するシューズにかかわらず、ランニング関連障害の増加と関連している(31,41)。しかし、体重85.7kg以上のミニマリストシューズを履いたランナーは、従来型シューズを履いた同じBMIのランナーに比べ、ランニング関連障害を負う可能性が3倍高い(19)。BMIは脂肪組織と筋量の両方の影響を受けるため、BMIが形態学的な最良の指標ではない可能性はあるものの、この知見は、特にアスリート集団において、体重がランニング関連障害の原因となりうることを示唆している。さらに、女性ランナーや疲労骨折の既往歴のあるランナーは、将来、疲労骨折を再発する可能性が高いことが示されている(67)。ミニマリストシューズでのランニングに関連して中足骨の負担が増加することを考えると、女性や疲労骨折の既往歴があるランナーは、ミニマリストシューズでのランニングの条件下の障害リスクがさらに高まる可能性がある。また、将来のランニング関連障害の最も強力な予測因子のひとつは、過去のランニング関連の既往歴であることを考慮する必要がある(66)。

様々な研究により、ミニマリストシューズと従来型シューズとの間には、全体的な障害発生率に差がないことが示唆されている。一方、ある系統的レビューでは、シューズのインソールを追加することで、大腿骨および脛骨の疲労骨折のリスクが減少する可能性があることが示唆されている(57)。Zhouら(68)とHamillら(26)による別々のレビューでは、接地パターンやシューズの違いは、単に障害の起こりやすさを変えるにすぎないことが示唆されている。ミニマリストシューズに変更すると、脛骨内側ストレス症候群、股関節損傷、膝関節損傷などの反復ストレス障害の可能性は低くなるが、アキレス腱損傷や中足骨疲労骨折のリスクは高くなる(1,26,53,68)。したがって、過去の障害を管理するためにミニマリストシューズに履き替えるランナーは、本来的に、従来型シューズを履くランナーよりもいずれ障害を負う可能性が高いといえる。

すべてのランナーに合うシューズはない

ミニマリストシューズでのランニングパフォーマンスと障害への影響に関しては、研究間において、なお相当な対立があり、入手可能な研究結果から推論を導き出すことは明らかに困難である。ミニマリストシューズの定義を提唱している著者がいるものの、従来型シューズとの比較説明には研究間でかなりのばらつきがあるため(15)、様々な研究から得たデータの解釈や統合は非常に困難である。また本稿で取り上げた研究は、ミニマリストシューズでのランニングに慣れている被験者と慣れていない被験者のどちらを評価するかという点でもそれぞれ異なっている。従来型シューズからミニマリストシューズに移行するランナーを評価し

た研究も複数あるが、これらの研究では、移行期間の長さに相当なばらつきがある。研究を適用する際のもうひとつの問題は、ランニング環境に関することである。多くの研究がトレッドミル上でのランニング評価を行なったが、それらは、地上でのランニングエコノミーや障害の傾向を示さない可能性もある。このような研究に含まれるあらゆる限界が、個々のランナーへの適用を困難にしている。

ランニングパフォーマンスに関しては、ミニマリストシューズでの走り方のバイオメカニクス的変化、特にストライド長の減少とストライド頻度の増加に基づき、ランニングエコノミーの向上を裏づける複数のエビデンスがある(7,8,22,29,55,59,64)。シューズの総重量もランニングエコノミーに有意な影響を与えると思われ、軽量のシューズほど総酸素消費量を減少させる(22,45,47,55)。しかし、これを競争力のあるパフォーマンスの定量的な向上と結びつけるエビデンスは限られている。

障害に関しては、ミニマリストシューズでのランニングは、股関節障害、膝蓋大腿部痛、また脛に障害のあるランナーにとって有望であるかもしれない(1,10,37,44,68)。しかし、ミニマリストシューズでの変化する負荷に関連して、中足骨とアキレス腱の障害リスクが増加するという代償もある(16,19,50,59)。これらの知見は、すべてのランナーにミニマリストシューズが適しているわけではないことを示唆している。どのランニングシューズが最も適しているかを判断するには、個人の既往歴が関連すると思われる。ランナーがミニマリストシューズでのランニングを行なうと決めた場合、足とふくらはぎを局所的に順応させるための漸進的なトレーニング処方を確実に考慮する必要がある。残念ながら、現在の研究では、理想的な移行期間に関する結論は得られていない。

臨床医もアスリートも同様に、相反するエビデンスに照らし、最善の判断を下すように努めなければならない。ランナーのためのミニマリストシューズの賛否両論に対し、全員一致の結論があるとは思えず、一人ひとりのランナーのニーズと関連リスクとを考慮する必要がある。我々は、シューズとそれがパフォーマンスや障害に及ぼす影響に関する研究をみるかぎり、すべてのランナーがミニマリストシューズでのランニングに切り替えることを強く主張するほど有力な根拠はないと考える。特に障害がない場合には、個人の接地パターンやシューズの好みが最も適切な選択になると思われる。Niggら(42)は、快適性フィルターのパラダイムと呼ばれるシューズ選択のための概念を提案している。このパラダイムでは、ランナーは、自分にとって最も快適と感じる状態に基づいて、様々なシューズの条件を選択する(40)。既往歴やリスク因子を考慮した場合、自分で決めた快適性のレベル(履き心地の良さ)が、個人のシューズ選択の適切なバロメーターになると思われる。さらに、快適性の評価が高いシューズほど、快適性が低いと評価されたシューズに比べ、ランニングエコノミーを向上させることができると示唆されている(38)。しかし、この快適性フィルターのパラダイムはまだ実質的なエビデンスに裏づけられていないため、最新の研究では、その妥当性に疑問が投げかけられている(35)。ミニマリストシューズは、股関節、膝関節、脛骨の持続的な障害に悩むランナーにとって朗報かもしない。しかし、足やふくらはぎの障害に関するリスク対効果を評価した上で、また、長い移行期間を守る強い意志を固めた後に、初めてミニマリストシューズを履くことができる。

移行へのカギ

ランナーが従来型シューズからミニマリストシューズに履き替える場合、その移行期間には十分注意すべきである。示唆されているような負荷の分布の変化を考えると、ミニマリストシューズへの急激な変更は、前述したように、さらなる障害を引き起こす可能性がある(20,52,53,59)。残念ながら、研究において、移行に関する明確なスケジュールは確立されていない。トレーニング量を週当たり10%増やすという助言は、ランニングそのものと同じくらい古くからあるように思われる。しかし、この10%トレーニングルールは障害を予防する効果的な手段であることは示されておらず、立証されたエビデンスとの関連もほとんどない(4)。これに代わってFullerら(19)は、従来型シューズからミニマリストシューズへのランニングの移行には、週当たりのトレーニング量を5%ずつ増加させることがより効果的であることを証明した。Warneら(63)の系統的レビューによると、ミニマリストシューズへの移行に関して、必要な筋群と神経の適応を図るためには、少なくとも4～8週間の移行期間が必要であると示唆される。Warneら(63)はさらに、骨障害に伴う骨髄浮腫のリスク増加を最小限に抑えるために、最初の2週間は全体のトレーニング量を10～20%減少させることを推奨している。しかし、ランナーの障害の発症傾向を変化させる複数の因子が、移行期をどの程度保守的に設定すべきかに影響を及ぼす。例えば、先に述べたように、肥満度の高いランナーはランニングに関連する障害リスクが高く、移行期をより長くすることを検討する必要がある(19)。Rothschild(50)は、ミニマリストシューズに利用できるベアフットランニングの漸進プログラムを提案している。ミニマリストシューズへの移行を明確に想定したものではないが、Wardenら

(62)は段階的なランニングプログラムを提供しており、シューズの移行にも役立つ可能性がある。そのようなプログラムは、個人の許容範囲に基づいてウォーキングやランニングを漸増させること、痛みがない場合にのみ漸進させることを提示している。

走り方の再トレーニング

ミニマリストシューズへの漸進的な移行は、望ましいバイオメカニクス的変化を最大限に達成するために、意図的な走り方の再トレーニングと同時に実施した場合に最も有益であることが判明するだろう。走り方の再トレーニングを行ないながらシューズを変更することで、接地パターンの変更とケイデンスの増加を促進し、ランニングパフォーマンスと障害に対する効果をより高めることができる。

走り方の再トレーニングを試みる際には、視覚と聴覚のバイオフィードバックを有益な手段として役立てることができる。Samaanら(54)は、被験者にランニング中の鉛直方向の地面反力を視覚的に表示し、鉛直方向の力の表示が「できるだけ滑らかに」なるように口頭で指示をした。さらに、「できるだけ柔らかく」「拇指球で」接地するよう指示をした。これらの指示により、被験者は、裸足で走る条件下で地面反力を効果的に低減することができた。残念ながら、このようなテクニックの活用は、広く行なわれているわけではない。しかし、Willyら(65)とRoperら(49)は、8回にわたるトレーニングセッションにおいて、鏡を見ることによるフィードバックと「つま先で走る」「拇指球で走る」という指示のみを用いて、同様の結果を得たと述べている。これらのトレーニングセッションは、すべて2週間以内で実施され、ランニングの時間が徐々に長くなるにつれて、提供するフィードバックを徐々に少なくする漸減フィードバックモデルを採用した。両研究の被験者は、自己申告によると、膝蓋大腿部痛の軽減を経験した。これらの研究は、被験者がリアルタイムに走り方の再トレーニングを受けながら、負荷率の減少を示したという先行研究に基づいている(9,43)。Heiderscheitら(28)は、被験者のケイデンスの合図にオーディオメトロノームを活用できることを示した。著者らは、被験者の好みのストライド頻度からわずかに5～10%程度変更するだけで、下肢関節への負荷を大幅に軽減できることを明らかにした。ミニマリストシューズによるランニングメカニクスの変化に関する知見に一貫性がないことを考えると、パフォーマンスの向上と障害の軽減という望ましい結果を得るためには、指導者によるフィードバックの下で実施することが最も効果的である。

準備トレーニング

ミニマリストシューズに移行する前に準備段階を設けることも有効であると考えられる。ミニマリストシューズでのランニングでは、下腿三頭筋や局所的な足部の筋群に対する要求が高まることが予想されるため、特異的なトレーニングにより順応を図ることが効果的であると考えられる。このような準備の有効性は、ミニマリストシューズに関する研究ではまだ評価されていないため、適切なタイミングと量を決定することが今後の課題である。Wardenら(63)とRothschild(50)は、ふくらはぎの筋力、ふくらはぎと足関節の可動性、足部固有の筋力、および固有感覚の適応を促進するエクササイズの概要を提供している。我々は、ランナーがミニマリストシューズでのランニングに変更する前に、これらの戦略を活用することを推奨する。さらに、裸足での活動を増やすことがランニング障害の軽減に役立つことも示唆されている(27)。

おわりに

過去20年以上にわたり、ミニマリストシューズの人気は変動し一定ではない。技術が進歩し、ランニングは引き続き人気の高いスポーツであるため、臨床医やコーチ、消費者は、シューズを選ぶ際のエビデンスに基づくアプローチを開発しなければならない。ミニマリストシューズで走るとランニングエコノミーが向上するというエビデンスはいくつかある。しかし、競技パフォーマンスの向上との関連性は、研究において、まだ明確に確認されてはいない。また、ミニマリストシューズでのランニングは、股関節の機能障害、膝蓋大腿部痛、脛の障害など、特定の障害を有するランナーにとって有益かもしれない(1,10,37,44,68)。しかし、中足骨やアキレス腱の障害リスクが後に高まることも考慮しなければならない(16,19,50,59)。最後に、ランナーがミニマリストシューズに切り替えると決めた場合には、合併症のリスクを減らすために、長期の移行期間を意図的に設ける必要がある。現場への応用に役立つ推奨事項が**表2**にまとめられている。◆

References

1. Altman AR, Davis IS. Prospective comparison of running injuries between shod and barefoot runners. *Br J Sports Med* 50: 476–480, 2016.
2. Bergstra SA, Kluitenberg B, Dekker R, et al. Running with a minimalist shoe increases plantar pressure in the forefoot region of healthy female runners. *J Sci Med Sport* 18: 463–468, 2015.
3. Bonacci J, Saunders PU, Hicks A, et al. Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: A biomechanical study. *Br J Sports Med* 47: 387–392, 2013.
4. Buist I, Bredeweg SW, van Mechelen W, et al. No effect of a graded training program on the number of runningrelated injuries in novice runners: A randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 36: 33–39, 2008.
5. Cavanagh PR, Lafortune MA. Ground reaction forces in distance running. *J*

表２　本稿の考察結果に基づく現場への応用	
移行時のトレーニング量と期間	トレーニング量を週5%ずつ増加させるよう配慮する。４～８週間以上かけて十分なトレーニング量に移行する。最初の数週間はトレーニング量を10～20%減らすよう考慮する。
走り方の再トレーニング	口頭でのフィードバック：「できるだけ柔らかく接地してください」または「拇趾球で接地してください」。聴覚フィードバック：メトロノームを使い、ステップ数を好みの速度から５～10%上げる。
準備トレーニング	下腿三頭筋と足部筋群の筋力と持久力を向上させる。ふくらはぎと足関節の可動性を高める。固有感覚の適応をトレーニングする。
考慮すべきリスク	中足骨とアキレス腱の障害リスクがより高まる。女性ランナーや体格指数の高いランナーは、かねてより、ミニマリストシューズによる障害リスクが高いと思われる。

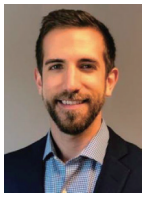
Biomech 13: 397–406, 1980.

6. Chambon N, Delattre N, Gue ´ guen N, Berton E, Rao G. Is midsole thickness a key parameter for the running pattern? *Gait Posture* 40: 58–63, 2014.
7. Cheung RT, Ngai SP. Effects of footwear on running economy in distance runners: A meta-analytical review. *J Sci Med Sport* 19: 260–266, 2016.
8. Cochrum RG, Connors RT, Coons JM, et al. Comparison of running economy calues while wearing no shoes, minimal shoes, and normal running shoes. *J Strength Cond Res* 31: 595–601, 2017.
9. Crowell HP, Davis IS. Gait retraining to reduce lower extremity loading in runners. *Clin Biomech* 26: 78–83, 2011.
10. Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, et al. Foot strike and injury rates in endurance runners: A retrospective study. *Med Sci Sports Exerc* 44: 1325–1334, 2012.
11. Davis I. Gait retraining: Altering the fingerprint of gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 27: 339–355, 2016.
12. Davis I. The re-emergence of the minimal running shoe. *J Orthop Sports Phys Ther* 44: 775–784, 2014.
13. Debugne G, Eerdekens M, Peters H, et al. Foot loading associated with barefoot, shod, and minimalist running in male rearfoot strikers. *J Am Podiatr Med Assoc* 110: 1–8, 2020.
14. Edwards WB, Taylor D, Rudolphi TJ, Gillette JC, Derrick TR. Effects of stride length and running mileage on a probabilistic stress fracture model. *Med Sci Sports Exerc* 41: 2177–2184, 2009.
15. Esculier JF, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy JS. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. *J Foot Ankle Res* 8: 42, 2015.
16. Firminger CR, Fung A, Loundagin LL, Edwards WB. Effects of footwear and stride length on metatarsal strains and failure in running. *Clin Biomech* 49: 8–15, 2017.
17. Franz JR, Wierzbinski CM, Kram R. Metabolic cost of running barefoot versus shod: Is lighter better? *Med Sci Sports Exerc* 44: 1519–1525, 2012.
18. Fuller JT, Thewlis D, Tsioris M, et al. Longerterm effects of minimalist shoes on running performance, strength and bone density: A 20-week follow-up study. *Eur J Sport Sci* 19: 402–412, 2019.
19. Fuller JT, Thewlis D, Buckley JD, et al. Body mass and weekly training distance influence the pain and injuries experienced by runners using minimalist shoes: A randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 45: 1162–1170, 2017.
20. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NA, Buckley JD. Six-week transition to minimalist shoes improves running economy and time-trial performance. *J Sci Med Sport* 20: 1117–1122, 2017.
21. Fuller JT, Thewlis D, Tsiros MD, Brown NA, Buckley JD. Effects of a minimalist shoe on running economy and 5-km running performance. *J Sports Sci* 34: 1740–1745, 2016.
22. Fuller JT, Bellenger CR, Thewlis D, Tsiros MD, Buckley JD. The effect of footwear on running performance and running economy in distance runners. *Sports Med* 45: 411– 422, 2014.
23. Gent RN, Siem D, van Middelkoop M, et al. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. *Br J Sports Med* 41: 469–480, 2007.
24. Goss DL, Gross MT. Relationships among self-reported shoe type, footstrike pattern, and injury incidence. *US Army Med Dep J* 25: 25–30, 2012.
25. Grier T, Canham-Chervak M, Bushman T, et al. Minimalist running shoes and injury risk among United States army soldiers. *Am J Sports Med* 44: 1439–1446, 2016.
26. Hamill J, Gruber AH. Is changing footstrike pattern beneficial to runners? *J Sport Health Sci* 6: 146–153, 2017.
27. Hart PM, Smith DR. Preventing running injuries through barefoot activity. *J Phys Educ Recreat Dance* 79: 50–53, 2008.
28. Heiderscheit BC, Chumanov ES, Michalski MP, Wille CM, Ryan MB. Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. *Med Sci Sports Exerc* 43: 296–302, 2011.
29. Hollander K, Heidt C, Van Der Zwaard BC, Braumann KM, Zech A. Long-term effects of habitual barefoot running and walking: A systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 49: 752–762, 2017.
30. Hollander K, Argubi-Wollesen A, Reer R, Zech A. Comparison of minimalist footwear strategies for simulating barefoot running: A randomized crossover study. *PLoS One* 10: e0125880, 2015.
31. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Smits DW, et al. The NLstart2run study: Incidence and risk factors of runningrelated injuries in novice runners: Incidence and risk factors of RRIs. *Scand J Med Sci Sports* 25: e515–e523, 2015.
32. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Diercks R, van der Worp H. What are the differences in injury proportions between different populations of runners? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 45: 1143–1161, 2015.
33. Knapik JJ, Trone DW, Tchandja J, Jones BH. Injury-reduction effectiveness of prescribing running shoes on the basis of foot arch height: Summary of military investigations. *J Orthop Sports Phys Ther* 44: 805–812, 2014.
34. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature* 463: 531– 535, 2010.
35. Lindorfer J, Kröll J, Schwameder H. Does enhanced footwear comfort affect oxygen consumption and running biomechanics? *Eur J Sport Sci* 20: 468–476, 2020.
36. Lorenz DS, Pontillo M. Is there evidence to support a forefoot strike pattern in barefoot runners? A review. *Sports Health* 4: 480– 484, 2012.
37. Luedke LE, Heiderscheit BC, Williams

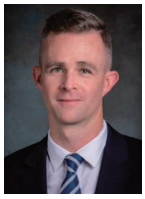
DS, Rauh MJ. Influence of step rate on shin injury and anterior knee pain in high school runners. *Med Sci Sports Exerc* 48: 1244–1250, 2016.
38. Luo G, Stergiou P, Worobets J, Nigg B, Stefanyshyn D. Improved footwear comfort reduces oxygen consumption during running. *Footwear Sci* 1: 25–29, 2009.
39. McDougall C. *Born to Run*. New York, NY: Knopf, 2009.
40. Mundermann A, Stefanyshyn DJ, Nigg BM. Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1939–1945, 2001.
41. Nielsen RO, Buist I, Parner ET, et al. Predictors of running-related injuries among 930 novice runners: A 1-year prospective follow-up study. *Orthop J Sports Med* 1: 232596711348731, 2013.
42. Nigg B, Baltich J, Hoerzer S, Enders H. Running shoes and running injuries: Mythbusting and a proposal for two new paradigms: "preferred movement path" and "comfort filter". *Br J Sports Med* 49: 1290– 1294, 2015.
43. Noehren B, Scholz J, Davis I. The effect of real-time gait retraining on hip kinematics, pain and function in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Br J Sports Med* 45: 691–696, 2011.
44. Ostermann K, Ridpath L, Hanna JB. Selfreported minimalist running injury incidence and severity: A pilot study. *J Am Osteopath Assoc* 116: 512, 2016.
45. Perkins KP, Hanney WJ, Rothschild CE. The risks and benefits of running barefoot or in minimalist shoes: A systematic review. *Sports Health* 6: 475–480, 2014.
46. Perl DP, Daoud AI, Lieberman DE. Effects of footwear and strike type on running economy. *Med Sci Sports Exerc* 44: 1335–1343, 2012.
47. Pollard CD, Ter Har JA, Hannigan JJ, Norcross MF. Influence of maximal running shoes on biomechanics before and after a 5K run. *Orthop J Sports Med* 6: 2325967118775720, 2018.
48. Rooney BD. *Joint Contact Loading in Forefoot and Rearfoot Strike Patterns During Running*. Ames, IA: Iowa State Univ Grad Theses Diss, 2011.
49. Roper JL, Harding EM, Doerfler D, et al. The effects of gait retraining in runners with patellofemoral pain: A randomized trial. *Clin Biomech* 35: 14–22, 2016.
50. Rothschild CE. Running barefoot or in minimalist shoes: Evidence or conjecture? *Strength Cond J* 34: 8–17, 2012.
51. Rothschild CE. Primitive running: A survey analysis of runners' interest, participation, and implementation. *J Strength Cond Res* 26: 2021–2026, 2012.
52. Ryan M, Elashi M, Newsham-West R, Taunton J. Examining injury risk and pain perception in runners using minimalist footwear. *Br J Sports Med* 48: 1257– 1262, 2014.
53. Salzler MJ. Injuries observed in a prospective transition from traditional to minimalist footwear: Correlation of high impact transient forces and lower injury severity. *Phys Sportsmed* 44: 373–379, 2016.
54. Samaan CD, Rainbow MJ, Davis IS. Reduction in ground reaction force variables with instructed barefoot running. *J Sport Health Sci* 3: 143–151, 2014.
55. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 34: 465–485, 2004.
56. Sinclair J, Richards J, Selfe J, Fau-Goodwin J, Shore H. The influence of minimalist and maximalist footwear on patellofemoral kinetics during running. *J Appl Biomech* 32: 359–364, 2016.
57. Snyder RA, DeAngelis JP, Koester MC, Spindler KP, Dunn WR. Does shoe insole modification prevent stress fractures? A systematic review. *HSS J* 5: 92–98, 2009.
58. Squadrone R, Rodano R, Hamill J, Preatoni E. Acute effect of different minimalist shoes on foot strike pattern and kinematics in rearfoot strikers during running. *J Sports Sci* 33: 1196–1204, 2015.
59. Sun X, Lam WK, Zhang X, Wang J, Fu W. Systematic review of the role of footwear constructions in running biomechanics: Implications for running-related injury and performance. *J Sports Sci Med* 19: 20–27, 2020.
60. Theisen D, Malisoux L, Genin J, et al. Influence of midsole hardness of standard cushioned shoes on running-related injury risk. *Br J Sports Med* 48: 371–376, 2014.
61. Videbæk S, Bueno AM, Nielsen RO, Rasmussen S. Incidence of running-related injuries per 1000 h of running in different types of runners: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 45: 1017– 1026, 2015.
62. Warden SJ, Davis IS, Fredericson M. Management and prevention of bone stress injuries in long-distance runners. *J Orthop Sports Phys Ther* 44: 749–765, 2014.
63. Warne JP, Gruber AH. Transitioning to minimal footwear: A systematic review of methods and future clinical recommendations. *Sports Med Open* 3: 1–21, 2017.
64. Warne JP, Warrington GD. Four-week habituation to simulated barefoot running improves running economy when compared with shod running: Habituation to simulated barefoot running. *Scand J Med Sci Sports* 24: 563–568, 2014.
65. Willy RW, Scholz JP, Davis IS. Mirror gait retraining for the treatment of patellofemoral pain in female runners. *Clin Biomech* 27: 1045–1051, 2012.
66. van der Worp MP, ten Haaf DS, van Cingel R, et al. Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences. *PLoS One* 10: e0114937, 2015.
67. Wright AA, Taylor JB, Ford KR, Siska L, Smoliga JM. Risk factors associated with lower extremity stress fractures in runners: A systematic review with metaanalysis. *Br J Sports Med* 49: 1517– 1523, 2015.
68. Zhou H, Ugbolue UC. Is there a relationship between strike pattern and injury during running: A review. *Phys Act Health* 3: 127–134, 2019.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 44, Number 3, pages 107-116.

著者紹介



Evan Andreyo：
SlipperyRock（ペンシルベニア州）にあるWise Physical Therapy and Sports Medicineの理学療法士で臨床ディレクターを務める。



Casey Unverzagt：
理学療法士。Baylor Universityの臨床助教として、理学療法博士課程の入学判定ディレクターを務める。

Brad J. Schoenfeld：
Bronx（ニューヨーク州）にあるCUNY Lehman Collegeの運動学の准教授で、大学院プログラムのディレクターを務める。