©NSCA JAPAN
Volume 28, Number 9, pages 74-81

Key Words【ボディビル：bodybuilding、フィジーク：physique competition、レジスタンストレーニング：resistance training、栄養：nutrition、ケトン誘発食：ketogenic diet、低糖質：low carbohydrate】

ボディメイク系競技者のためのケトン誘発食

The Ketogenic Diet for Bodybuilders and Physique Athletes

Adam Tzur, [1] B.A.　**Brandon M. Roberts,** [2] Ph.D., CSCS
[1]Sci-Fit.net, Kristiansand, Norway
[2]The Strength Guys Inc., Birmingham, Alabama

要約

ここ数十年、ケトン誘発食はアスリートに役立つ可能性のある食事として科学的関心を集めている。本稿は、ケトン誘発食に関する諸研究の概要を説明し、ケトン誘発食やケトン体サプリメントが、ボディメイク系競技のオフシーズンやインシーズンの利用に適しているかどうかを考察する。ケトン誘発食は体脂肪の減少に効果的であり、空腹感を減退させる効果がある。しかし現在のエビデンスによると、バルクアップと除脂肪体重の増加には適していない。ケトン誘発食の導入時は副作用が想定されるため、電解質、繊維質、水分の摂取量を増やして対処する必要がある。現状、外因性ケトン体は推奨されない。

序論と背景

アメリカではフィジークやボディビルの人気が高まっている。ポーズをとって肉体を披露する競技者に対して、筋肉、体脂肪、均整、美しさ、ポージング技術などが審査される(15,36,37,70)。目標を達成するために様々な食事が利用されるが、最近は、オフシーズンにもインシーズンにも適した食事としてケトン誘発食が注目を集めている。

ボディビルやフィジークの競技者は、競技会に向けて身体組成を向上させる。そのためには、体脂肪を減らし、筋量を維持または増加させる必要がある(36,37,70,82)。年間のトレーニング期の中でも「オフシーズン」は、カロリーを過剰摂取して筋量を増加させる。この高カロリー期は、一般に筋量と体脂肪量の増加をもたらす(37,39)。これに続く競技会前は、摂取カロリーを減らして体脂肪量を減少させる。この時期を「インシーズン」または競技会準備期などと呼ぶ(14,36,37,39,70)。

近年、ケトン誘発食が注目されている。ケトン誘発食はてんかんの治療に利用されてきた食事であり、低糖質(<50 g)、高脂質、低タンパク質で構成される(1,18,54,66,91)。ケトン誘発食に対する最初の適応期を過ぎると、身体組織は低糖質の食事に慣れ、脂質とケトン体を一次エネルギー源として利用するようになる(54,74)。摂取した脂質が肝臓で酸化されると、アセトン、βヒドロキシ酪酸(BHB)、アセトアセテートの3つのケトン体が生み出され、ケトーシス状態に達する(2,66)。血糖値と血中インスリン濃度が低下し、血中ケトン体濃度が上昇してBHB濃度が0.5 mmol/ℓに達すると栄養的ケトーシス状態に達したとみなされる(30,33,34)。

栄養的ケトーシスに達するには、主要栄養素の中で糖質だけを操作すればよいことが過去数十年の研究によって判明している(66)。したがって、ケトン誘発食は、1日当たりの糖質摂取量が<50 gに制限されていれば、タンパク質や脂質の量を問わない(1,66,80)。多量のタンパク質の摂取はケトーシス状態を妨げるのではないかという懸念があるが、高タンパク質食を摂りながらケトーシス状態にあるケースが数多く報告されている(12,13,41,42,56,61,86,92)。したがって、ケトン誘発食は、競技会準備期に多量のタンパク質を摂取して筋量を維持す

る必要のあるボディビルダーおよびフィジークアスリート(ボディメイク系競技者)に適している(36)。

すでに述べたように、ケトン誘発食を体重減少やパフォーマンス向上の手段として利用するには長所も短所もある。例えば、ケトン誘発食は自由摂食を減らすことに役立つが、これは競技者の目的次第で長所とも短所ともなる。また、食事の順守度がケトン食を治療として用いた患者においても健常者においても低い(45,54,95)。ただし、ボディメイク系競技者は例外であり、極端な方法をとってでも食事を順守しようとする。その他の欠点としては、ケトン誘発食は筋グリコーゲン量を減少させるため、長期的にみて競技パフォーマンス、筋力、筋肥大が損なわれるのではないかという懸念がある。しかし、ボディメイク系競技者を対象とするケトン誘発食の研究はほとんど存在しない。

外因性ケトン体は新しいサプリメントであり、食事内容を変更することなくケトン誘発食と同様の効果を生む可能性がある。血中ケトン体濃度を上昇させることによって、いわゆる外因性ケトーシス状態を達成すると考えられる(79)。ケトン体には塩とエステルの2つのタイプがあり、パフォーマンスや副作用に関する研究によると、ケトンエステルのほうが有益であるとみられる。外因性ケトン体の支持者は、外因性ケトン体には食事内容の変化と協働して、あるいは独立して、回復効果をもたらす可能性があると主張している(79)。また、サプリメントを利用すれば、ケトン誘発食導入期の副作用を緩和できるともいわれている(34)。

ケトン誘発食が持久力と肥満に及ぼす影響はすでに多くの調査がされているが、ボディメイク系競技者への影響はほとんど調査されていない。そこで本稿では、他競技のアスリートや一般人を対象とした研究に基づいて、ボディメイク系競技者における利用法を検討する。

筋肥大とパフォーマンス

ボディメイク系競技者の第一の目標は、筋肥大を至適化することである。第二の目標は、一般に筋力の維持または増加である。したがって、筋量と筋力の増加において、ケトン誘発食が他の食事よりも優れているのか、劣っているのか、あるいは等しいのかが関心の的となる。ケトン誘発食を摂るボディメイク系競技者に関する研究は現在存在しない。そこで、類似競技に関する研究から推測する必要がある。

筋力＆パワー系競技のガイドラインに従うと糖質を多量に摂取するべきである(75)。そのため、ボディメイク系競技者における糖質摂取の推奨基準は、オフシーズンと競技会準備期は体重1kg当たり3～8gとされる(39,69)。しかし、筋肥大と筋力向上のための至適糖質摂取量に関しては異論があり、矛盾するデータの存在が指摘されている。

糖質制限が有害であることを示す明らかなエビデンスは存在しない(15,20)。実際、「筋タンパク質合成を最大限に刺激するタンパク質のサプリメントを摂取していれば、糖質が筋肥大にそれ以上の効果を及ぼすことはない」(20)。食事によるタンパク質の摂取量が適切であれば、糖質によって筋タンパク質合成が増強されるとは考えられない(22,43,47)。しかし、運動の持続時間と強度によっては、糖質が力発揮能力に有益な影響を及ぼす可能性がある(15,20)。ケトン食による糖質制限が緩やかな制限よりも有害であるとすれば、利用できる糖質の量に問題があるのかもしれない。食事に糖質が十分に含まれていれば、トレーニング量を増加させることが可能になるため、長期的にみて筋量が増加する(15)。しかし、低糖質に関する研究でも、同様のトレーニング適応が報告されている(20)。

このような議論の多くは筋グリコーゲンの重要性と関連している。ケトン誘発食を開始すると、最初の6週間以上、筋内のグリコーゲン貯蔵量が約40～50％減少する(9,32,49,64,65)。このレベルの減少は、理論的にはトレーニング能力とパフォーマンスを減衰させる。なぜなら、レジスタンストレーニングでは主にホスファゲン機構(ATP-CP系)と解糖系が利用されるからである(27,46,81)。トレーニングの持続時間、強度、量は、利用可能な筋グリコーゲン量に依存する(46)。グリコーゲンの貯蔵量の減少はトレーニング量の減少に繋がり、ひいてはオフシーズンの筋肥大量の減少や競技会シーズンの除脂肪体重の減少を招く可能性がある(15)。

筋肉質で体脂肪の少ないアスリートとして体操選手が挙げられる。そのため、体操選手に観察される変化は、ボディビル選手にも反映される可能性がある。エリートクラスの体操選手を2～4週間にわたって調査した結果、チンアップおよびディップスのパフォーマンステストにおいて、ケトン誘発食群と西洋食群の間にいかなる差異も見出されなかった(63)。この研究によると、ケトン誘発食群は、筋力やパワーのパフォーマンスを損なうことなく、体脂肪を減らし、除脂肪体重を維持した。ただし、この研究ではタンパク質の摂取量が両群で異なっていた。ケトン誘発食群は西洋食群の2.4倍のタンパク質を摂取しており(200gと83g)、これはこの研究の大きな欠点である。また別の研究では、タンパク質を同量にしたケトン誘発食が、ウエイトリフティング選手の身体組成とパフォーマンスに及ぼす影響が調査された。その結果、パフォーマンスには負の影響がなかったが、除脂肪体重が減少した(28)。さらに、クロスフィットの競技者を対象

として、6週間のケトン誘発食が及ぼす影響を調査した研究もある。その結果、パフォーマンスの向上とともに、体脂肪量の減少と除脂肪体重の維持が観察された(29)。これらの調査結果を考え合わせると、ケトン誘発食は直接的なパフォーマンスの減衰を引き起こす可能性はないが、除脂肪体重を変化させる可能性があると考えられる。

現在まで2点の研究によって、ケトン誘発食による除脂肪体重の増加が報告されているが(87,92)、そのうちの1点はレジスタンストレーニング介入を利用している(92)。それによると、10週間のレジスタンストレーニングプログラムに、ケトン誘発食あるいは西洋食を併用すると、除脂肪体重が増加して体脂肪量が減少した(それぞれ4.4%と2.4%)。どちらの条件でも筋力とパワーの増加は同程度であった(92)。しかしこの研究には、グリコーゲンの超回復プロトコルとデータ報告上の問題などの顕著な欠点がある(詳細な分析は参考文献96を参照)。他の研究では、筋量は維持され、有意な増加は見出されなかった(29,40,44,63,84)。例えば、Vargasら(84)は、鍛錬された男性を対象としてケトン誘発食の影響を評価した。期間は8週間にわたり、被験者を対照群、ケトン誘発食群、非ケトン誘発食群の3群に無作為に割り当てて並行研究が行なわれた。3群とも高タンパク質食が与えられた(1日当たり体重1kgにつき約2g)。エネルギー余剰を誘発することによって、除脂肪体重を増加させることが研究の目的であった。しかし、3群の中で非ケトン誘発食群のみに体重と除脂肪体重の増加がみられ、ケトン誘発食群には体脂肪の減少がみられた。同様の結果は持久系アスリートを対象とするMcSwiney(56)によっても報告され、カロリー摂取は増えても体重が約6kg減少した。これらの結果は、ケトン誘発食による満腹感の増大と食欲の減退に起因する可能性がある。したがって、ケトン誘発食は、筋量の増大を目指すオフシーズンのボディメイク系競技者には適切な方策ではないかもしれない(15)。ただし、除脂肪体重は筋量の尺度として適切ではなく、全身の水分量の変動という交絡因子が存在する。そのため、ケトン誘発食による筋肥大のエビデンスには限界がある。

ボディメイク系競技者にとってもうひとつの懸念は、筋グリコーゲン濃度の低下がメリハリのない外見をもたらし、ケトン誘発食を摂取しない場合よりも筋を小さく見せることである。ボディメイク系競技者は筋醜形恐怖症を発症することが多く、これは精神的に負の影響を生む可能性がある(37)。ケトン誘発食による低グリコーゲン濃度を相殺するひとつの方法は糖質の再供給であるが、これを行なうとケトーシス状態ではなくなり、再適応が必要になるリスクがある。観察研究によると、ケトーシス状態に長く適応しているアスリートは、グリコーゲンの貯蔵量も利用も正常である(86)。これは、適応期間が十分に長ければグリコーゲン回復が発生することを示している。

要するに、ボディメイク系競技者におけるケトン誘発食は長期にわたって詳細に調査されたことがなく、筋力や筋肥大に違いがみられるかどうかも研究されていない。類似競技の選手やレジスタンストレーニング経験者を対象とした諸研究の結果をみると、ケトン誘発食は筋量と筋力の維持に適していると考えられる。しかし、ボディメイク系競技者はカロリー摂取を増やして体重を増加させる必要があることを考えると、オフシーズンのバルクアップには適していない可能性がある。

脂肪の減少と空腹感

ケトン誘発食は肥満や糖尿病の治療法として長く研究されてきたが、最近は、アスリートの体重減少に利用されることが多い。ただし、本稿の関心は体重よりも体脂肪量の減少にある。体重を尺度として利用するには注意が必要である。なぜなら、体重は体脂肪と除脂肪体重から構成されているからである。ボディメイク系競技者は、除脂肪体重ではなく体脂肪量の減少を目標としている。さらに、ケトン誘発食の開始直後はグリコーゲンが減少し、脱水効果によって水分量が急速に減少する(19,26,62)。体重と体脂肪量を同一視すると、急激な体重減少を体脂肪量の減少と取り違える可能性がある。この点を考慮して、本稿は体脂肪量に焦点を絞る。

トレーニング経験の有り(29,63,68,87,92,93)無し(10-12,40,41,42,57,61,71,76,85)にかかわらず、ケトン誘発食が体脂肪量を効果的に減少させることは多くの研究によって示されている。それらの研究では、ケトン誘発食群は対照食群と比べて同等あるいは優れた体脂肪量の減少を示した。しかし、ほとんどの研究には、群間のタンパク質やカロリーの摂取量が等しくないという交絡因子が存在し、ケトン誘発食群はカロリー摂取量が少なくタンパク質の摂取量が多い。この欠点は、ケトン誘発食が体脂肪量の減少に有効かどうかについて決定的な結論を引き出す妨げとなる。とはいえ、ケトン誘発食には固有の利点があることは間違いない。

特に、ケトン誘発食は空腹感の自然発生的な低下をもたらす。ほとんどのケトン誘発食はカロリー制限がなく、糖質が制限されるだけである。しかしケトン誘発食の利用者は、カロリーが制限されていなくても自然発生的にカロリー摂取量を減らす(3,25)。さらに、ケトン誘発食に関する多くの研究において空腹感の低下が報告されている(24,25,41,42,48,51,53,55,60,72,76)。空腹感の低下と自然発生的なカロリー制限は、カロリー摂取量の減少を目指すアスリートには有益であろう。

空腹感の低下は、ほとんどの状況で利点とみなされるであろうが、非生産的とみなされる状況もある。特にオフシーズンのバルクアップではカロリーを過剰摂取する必要がある。著者らの知るかぎりでは、高カロリーのケトン誘発食を処方した研究は2点だけである(56,84)。どちらの研究でも被験者の体重は減少したため、高カロリー処方は順守されなかったと考えられる。おそらく、自由摂食における、空腹感の低下と自然発生的な摂取カロリーの減少によるものであろう。

まとめると、摂取カロリーが同じであれば、ケトン誘発食は対照食と同等の体脂肪の減少をもたらす。ケトン誘発食では体重減少がすぐに発生するが、これはグリコーゲンと水分量の減少による。ケトン誘発食は空腹感を和らげる効果があるため、カロリーの摂取量が減少する。したがって、オフシーズンのバルクアップのためにカロリーを余剰摂取したいアスリートには適していない。

ケトフルと自覚的副作用

ケトン誘発食の開始後数週間、あるいは数ヵ月間、生理機能や代謝機能に数多くの影響が発生する。例えば、血中グルコース濃度を維持するために肝臓のグリコーゲン貯蔵量が減少する(8)。また、インスリン濃度が低下して、ナトリウム利尿、カリウム尿、多尿が発生する(33)。その結果、水分と電解質が失われ(19,26,62)、電解質異常に至る可能性もある。また、ケトン誘発食の被験者は、基準値よりも食物繊維の摂取量が低下することも報告されている(4-6,58)。

結果として、多くの自覚的副作用が発生する。ボディメイク系競技者について最も多く報告されている副作用には、頭痛、便秘、下痢、悪心、痛み、疲労がある(6,48,58,59,73,89,90,94)。やや少ないが脱力感も報告されている(59)。

これらの副作用は総合して一般に「ケトフル」と呼ばれている(31,34,54)。ケトフルは、ケトン誘発食に対する正常な適応反応であるが、適応期間の長さは不明である。一部の副作用は数日あるいは数週間で解消されるが、数ヵ月あるいは数年続くことが報告されている副作用もある。

ボディメイク系競技者は、ケトン誘発食が、競技会準備期の身体とトレーニングに及ぼす影響について考える必要がある。疲労や倦怠感はトレーニングの量と強度を制限する可能性がある。便秘、下痢、悪心は、食事の順守を妨げる可能性がある。頭痛や痛みは、精神的に厳しい競技会期に乗り越えなければならない障害物を増やす可能性がある。しかし、ここに挙げたすべての副作用を1人が経験するとはかぎらない。副作用に関しては、研究間や個人間のばらつきがかなり大きい。

ケトン誘発食導入期のケトフルを防ぐ方法が提案されている。例えば、電解質異常に対しては電解質の補給(7,23,58,88,94)、多尿の影響を防ぐには適切な水分摂取(23,88,94)、便秘を防ぐには食物繊維の補給(58,77)などがある。

ボディメイク系競技者は、ケトン誘発食がもたらす影響に注意を払わなければならない。副作用を防ぐ方策をとり、競技会準備期後期のケトン誘発食の開始は慎重に行なう必要がある。

外因性ケトン体

外因性ケトン体は、人体が利用可能な新しいサプリメントである。研究では、エステルや塩など様々なタイプが利用されている(35)。ケトンエステルはさらに2つのタイプに分かれる。ケトンモノエステル(KME)は、(R)3-ヒドロキシブチル(R)3-ヒドロキシ酪酸から構成され、ケトンジエステルはR,S-1,3-ブタンジオールアセトアセテートジエステルから構成される。どちらも血中BHBを増加させる(16,17,52)。濃度の上昇はサプリメントの摂取後30～60分以内に発生し、2～3時間持続する(16)。外因性ケトン体を複数回投与した研究では、濃度上昇の持続時間が増加した(50,79)。これらを考え合わせると、外因性ケトン体が血中ケトン体濃度を上昇させることは明らかである(16)。

ケトン体サプリメントに関する大多数の研究は、持久系トレーニングとの関連を調査したものであるため、ボディメイク系競技者にそのまま適用することは難しい(17,38,67,83)。さらに、パフォーマンスの増大を示さなかった研究も多い(52)。ある研究では、ケトンエステルの摂取が持久系トレーニングでオーバーリーチングを防ぐことが示されている(67)。しかしこの研究には、各群のエネルギー摂取量が等しくないという大きな欠点が存在する。

ケトン誘発食で食欲と空腹感が低下するのは血中ケトン体濃度の上昇によると考えられるため、外因性ケトン体も同じ作用を有する可能性がある。ボディメイク系競技者を対象とする研究は存在しないが、空腹感に関しては、競技会準備期や体重減少を試みる競技者に利益をもたらすことが示されている。実際、ケトンエステルの摂取は空腹を4時間抑制する(78)。Stubbsら(78)によると、グルコースの摂取と比べてKMEの摂取は、おそらくグレリンの変化を誘発することによって空腹を強く抑制する。しかし、トレーニングプログラムを終えた健康な男性がオーバーリーチングの徴候を示している場合は、KMEを摂取しても空腹感やグレリンに変化はみられず、食事の摂取量が増加した(67)。これら2点の研究はケトン体についてある知見を提供しているものの、ボディメイク系競技者に役立つかどうかは不明である。

ケトン体は、運動後の回復の観点からも調査されている。ケトン体によっ

てトレーニング間の回復が向上するならば、ボディメイク系競技者はトレーニングの頻度や強度を上げることが可能になり、パフォーマンスを向上させられるであろう。この問題を調査した研究は3点存在するが、いずれもレジスタンストレーニングを利用していない(17,38,83)。結果的にそれらのエビデンスには、ケトン体の摂取(炭水化物も伴う)がグリコーゲンの合成を助けるというものも含まれていた。ただし、ボディメイク系競技者が1日に2度トレーニングすることは少なく、栄養を適切に摂取していれば、グリコーゲンの再合成が大きな制限因子になるほど多量のトレーニング(自転車競技の選手のように)を行なうことも少ない。

サプリメントの摂取には常に副作用の懸念があり、ケトン体サプリメントも例外ではない。例えば、刺激的な苦味のあることが報告されている(21,38,50,79)。これはサプリメントの摂取を抑制するかもしれないが、将来的には改善される可能性がある。

ボディメイク系競技者がパフォーマンスや回復の向上と食欲の抑制を目的として、ケトン体サプリメントを摂取することを支持するエビデンスは非常に脆弱である。現時点では、サプリメントがボディメイク系競技者に利益をもたらすとは言いがたい。

現場への応用

ボディメイク系競技者にとって関連性の高い影響を**表**にまとめた。

ケトン誘発食は、体脂肪を減少させる方策として、他のカロリー制限食と同程度の効果を有する。空腹感の大幅な低下が報告され、カロリー摂取量が自然発生的に減少する傾向にある。これらの利点は、空腹感と食事の順守に苦しむアスリートの役に立つ可能性がある。また、鍛錬されたアスリートにおいては、レジスタンストレーニングのパフォーマンスも損なわれないようである。

ケトン誘発食の短所としては、筋内のグリコーゲン貯蔵量の減少と筋内水分量の減少によって筋サイズが変化する可能性がある。ボディメイク系競技者にとって、見た目の筋サイズの減少は大きな問題である。さらに、ケトン誘発食導入期には、他のカロリー制限食よりも強い副作用がある。例えば、頭痛、便秘、疲労感などがあるが、あらかじめ電解質や食物繊維を補い、水分摂取量を増やすことによって、これらの副作用を予防する必要がある。

ボディメイク系競技者にとって、ケトン誘発食が適切なケースは以下の通りである。

- 競技会準備期初期でケトン誘発食に適応する時間がある場合。
- 空腹感によって食事が順守できない場合。
- 副作用がほとんどなく、食事を楽しめる場合。

現在のエビデンスに従うと、ケトン誘発食を推奨できないケースは以下の通りである。

- オフシーズンのバルクアップ。ケトン誘発食は食欲を減退させる効果があり、除脂肪体重を増やせない可能性がある。しかし個人差があり、そのような影響がみられないこともあるため、個々に試すことが必要である。

筆者らがケトン誘発食を推奨できないケースは以下の通りである。

- 競技会準備期後期にケトン誘発食を開始すること。副作用の可能性があり、筋内のグリコーゲン貯蔵量と水分量が減少して筋サイズが低下するだけでなく、脱水を招くこともある。
- 外因性ケトン体の利用。ボディメイク系競技者にとって明らかな利点がない。ただし、将来的に製剤設計が向上すれば、この指針は変更される可能性がある。

コーチは、ケトン誘発食の長所と短所についてアスリートに適切な情報を提供するべきである。◆

References

1. Adam-Perrot A, Clifton P, Brouns F. Low-carbohydrate diets: Nutritional and physiological aspects. *Obes Rev* 7: 49–58, 2006.
2. Anderson JC. Measuring breath acetone for monitoring fat loss: Review. *Obesity (Silver Spring)* 23: 2327–2334, 2015.
3. Aragon AA, Schoenfeld BJ, Wildman R, et al. International society of sports nutrition position stand: Diets and body composition. *J Int Soc Sports Nutr* 14: 16, 2017.
4. Ballard KD, Quann EE, Kupchak BR, et al. Dietary carbohydrate restriction improves insulin sensitivity, blood pressure, microvascular function, and cellular adhesion markers in individuals taking statins. *Nutr Res* 33: 905–912, 2013.
5. Baron JA, Schori A, Crow B, Carter R, Mann JI. A randomized controlled trial of low carbohydrate and low fat/high fiber diets for weight loss. *Am J Public Health* 76: 1293–1296, 1986.
6. Bazzano LA, Hu T, Reynolds K, et al. Effects of low-carbohydrate and low-fat diets: A randomized trial. *Ann Intern Med* 161: 309, 2014.
7. Bhanpuri NH, Hallberg SJ, Williams PT,

表　ケトン誘発食の導入期に発生する影響

時期	筋内のグリコーゲン貯蔵量	全身の水分量	体重	副作用	空腹感
ケトン誘発食の導入期	1～6週間は20～54%減少する。	1～8週間は約1～5kg減少する。	減少するが、ばらつきが大きい。	増加するが、ばらつきが大きい。	減少するが、ばらつきが大きい。

これらの変化はカロリーや糖質制限のレベルに依存する。

et al. Cardiovascular disease risk factor responses to a type 2 diabetes care model including nutritional ketosis induced by sustained carbohydrate restriction at 1 year: An open label, non-randomized, controlled study. *Cardiovasc Diabetol* 17: 56, 2018.
8. Bilsborough SA, Crowe TC. Low-carbohydrate diets: What are the potential short- and long-term health implications? *Asia Pac J Clin Nutr* 12: 396–404, 2003.
9. Bogardus C, LaGrange BM, Horton ES, Sims EA. Comparison of carbohydrate-containing and carbohydrate-restricted hypocaloric diets in the treatment of obesity. Endurance and metabolic fuel homeostasis during strenuous exercise. *J Clin Invest* 68: 399–404, 1981.
10. Brehm BJ, Seeley RJ, Daniels SR, D'Alessio DA. A randomized trial comparing a very low carbohydrate diet and a calorie-restricted low fat diet on body weight and cardiovascular risk factors in healthy women. *J Clin Endocrinol Metab* 88: 1617–1623, 2003.
11. Brehm BJ, Spang SE, Lattin BL, et al. The role of energy expenditure in the differential weight loss in obese women on low-fat and low-carbohydrate diets. *J Clin Endocrinol Metab* 90: 1475–1482, 2005.
12. Brinkworth GD, Noakes M, Clifton PM, Buckley JD. Effects of a low carbohydrate weight loss diet on exercise capacity and tolerance in obese subjects. *Obesity* 17: 1916–1923, 2009.
13. Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA, et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol* 595: 2785–2807, 2017.
14. Chappell AJ, Simper T, Barker ME. Nutritional strategies of high level natural bodybuilders during competition preparation. *J Int Soc Sports Nutr* 15: 4, 2018.
15. Cholewa JM, Newmire DE, Zanchi NE. Carbohydrate restriction: Friend or foe of resistance-based exercise performance? *Nutrition* 60: 136–146, 2019.
16. Clarke K, Tchabanenko K, Pawlosky R, et al. Kinetics, safety and tolerability of (R)-3-hydroxybutyl (R)-3-hydroxybutyrate in healthy adult subjects. *Regul Toxicol Pharmacol* 63: 401–408, 2012.
17. Cox PJ, Kirk T, Ashmore T, et al. Nutritional ketosis alters fuel preference and thereby endurance performance in athletes. *Cell Metab* 24: 256–268, 2016.
18. D'Andrea Meira I, Romão TT, Pires do Prado HJ, et al. Ketogenic diet and epilepsy: What we know so far. *Front Neurosci* 13: 5, 2019.
19. Denke MA. Metabolic effects of high-protein, low-carbohydrate diets. *Am J Cardiol* 88: 59–61, 2001.
20. Escobar KA, VanDusseldorp TA, Kerksick CM. Carbohydrate intake and resistance-based exercise: Are current recommendations reflective of actual need? *Br J Nutr* 116: 2053–2065, 2016.
21. Evans M, Patchett E, Nally R, et al. Effect of acute ingestion of β-hydroxybutyrate salts on the response to graded exercise in trained cyclists. *Eur J Sport Sci* 18: 376–386, 2018.
22. Figueiredo VC, Cameron-Smith D. Is carbohydrate needed to further stimulate muscle protein synthesis/hypertrophy following resistance exercise? *J Int Soc Sports Nutr* 10: 42, 2013.
23. Forouhi NG, Misra A, Mohan V, Taylor R, Yancy W. Dietary and nutritional approaches for prevention and management of type 2 diabetes. *BMJ* 361: k2234, 2018.
24. Foster GD, Wadden TA, Peterson FJ, et al. A controlled comparison of three very-low-calorie diets: Effects on weight, body composition, and symptoms. *Am J Clin Nutr* 55: 811–817, 1992.
25. Gibson AA, Seimon RV, Lee CMY, et al. Do ketogenic diets really suppress appetite? A systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 16: 64–76, 2015.
26. Gomez-Arbelaez D, Bellido D, Castro AI, et al. Body composition changes after very-low-calorie ketogenic diet in obesity evaluated by 3 standardized methods. *J Clin Endocrinol Metab* 102: 488–498, 2017.
27. Gorostiaga EM, Navarro-Amézqueta I, Cusso R, et al. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. *PLoS One* 5: e13486, 2010.
28. Greene DA, Varley BJ, Hartwig TB, Chapman P, Rigney M. A low-carbohydrate ketogenic diet reduces body mass without compromising performance in powerlifting and olympic weightlifting athletes. *J Strength Cond Res* 32: 3373–3382, 2018.
29. Gregory RM. A low-carbohydrate ketogenic diet combined with 6-weeks of crossfit training improves body composition and performance. Available at: https://clinmedjournals.org/articles/ijsem/international-journal-of-sports-and-exercise-medicine-ijsem-3-054.php?jid=ijsem. Accessed February 10, 2020.
30. Guerci B, Benichou M, Floriot M, et al. Accuracy of an electrochemical sensor for measuring capillary blood ketones by fingerstick samples during metabolic deterioration after continuous subcutaneous insulin infusion interruption in type 1 diabetic patients. *Diabetes Care* 26: 1137–1141, 2003.
31. Hamdy O, Tasabehji MW, Elseaidy T, et al. Fat versus carbohydrate-based energy-restricted diets for weight loss in patients with type 2 diabetes. *Curr Diab Rep* 18: 128, 2018.
32. Harber MP, Schenk S, Barkan AL, Horowitz JF. Alterations in carbohydrate metabolism in response to short-term dietary carbohydrate restriction. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 289: E306–E312, 2005.
33. Harvey CJdC, Schofield GM, Zinn C, et al. Low-carbohydrate diets differing in carbohydrate restriction improve cardiometabolic and anthropometric markers in healthy adults: A randomised clinical trial. *PeerJ* 7: e6273, 2019.
34. Harvey CJDC, Schofield GM, Williden M. The use of nutritional supplements to induce ketosis and reduce symptoms associated with keto-induction: A narrative review. *PeerJ* 6: e4488, 2018.
35. Harvey KL, Holcomb LE, Kolwicz SC. Ketogenic diets and exercise performance. *Nutrients* 11: 2296, 2019.
36. Helms ER, Aragon AA, Fitschen PJ. Evidence-based recommendations for natural bodybuilding contest preparation: Nutrition and supplementation. *J Int Soc Sports Nutr* 11: 20, 2014.
37. Helms ER, Prnjak K, Linardon J. Towards a sustainable nutrition paradigm in physique sport: A narrative review. *Sports* 7: 172, 2019.
38. Holdsworth DA, Cox PJ, Kirk T, et al. A ketone ester drink increases postexercise muscle glycogen synthesis in humans. *Med Sci Sports Exerc* 49: 1789–1795, 2017.
39. Iraki J, Fitschen P, Espinar S, Helms E. Nutrition recommendations for bodybuilders in the off-season: A narrative review. *Sports (Basel)* 7: E154, 2019.
40. Jabekk PT, Moe IA, Meen HD, Tomten SE, Høstmark AT. Resistance training in overweight women on a ketogenic diet conserved lean body mass while reducing body fat. *Nutr Metab (Lond)* 7: 17, 2010.
41. Johnston CS, Tjonn SL, Swan PD, et al. Ketogenic low-carbohydrate diets have no metabolic advantage over nonketogenic low-carbohydrate diets. *Am J Clin Nutr* 83:

1055–1061, 2006.
42. Johnstone AM, Horgan GW, Murison SD, Bremner DM, Lobley GE. Effects of a high-protein ketogenic diet on hunger, appetite, and weight loss in obese men feeding ad libitum. *Am J Clin Nutr* 87: 44–55, 2008.
43. Kato H, Suzuki H, Inoue Y, et al. Co-ingestion of carbohydrate with leucine-enriched essential amino acids does not augment acute postexercise muscle protein synthesis in a strenuous exercise-induced hypoinsulinemic state. *Springerplus* 5: 1299, 2016.
44. Kephart WC, Pledge CD, Roberson PA, et al. The three-month effects of a ketogenic diet on body composition, blood parameters, and performance metrics in CrossFit trainees: A pilot study. *Sports (Basel)* 6: E1, 2018.
45. Kirkpatrick CF, Bolick JP, Kris-Etherton PM, et al. Review of current evidence and clinical recommendations on the effects of low-carbohydrate and very-low-carbohydrate (including ketogenic) diets for the management of body weight and other cardiometabolic risk factors: A scientific statement from the national lipid association nutrition and lifestyle task force. *J Clin Lipidol* 13: 689–711.e1, 2019.
46. Knuiman P, Hopman MTE, Mensink M. Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutr Metab* 12: 59, 2015.
47. Koopman R, Beelen M, Stellingwerff T, et al. Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment postexercise muscle protein synthesis. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 293: E833–E842, 2007.
48. Krebs NF, Gao D, Gralla J, Collins JS, Johnson SL. Efficacy and safety of a high protein, low carbohydrate diet for weight loss in severely obese adolescents. *J Pediatr* 157: 252–258, 2010.
49. Krotkiewski M, Landin K, Mellström D, Tölli J. Loss of total body potassium during rapid weight loss does not depend on the decrease of potassium concentration in muscles. Different methods to evaluate body composition during a low energy diet. *Int J Obes* 24: 101–107, 2000.
50. Leckey JJ, Ross ML, Quod M, Hawley JA, Burke LM. Ketone diester ingestion impairs time-trial performance in professional cyclists. *Front Physiol* 8: 806, 2017.
51. Lobley GE, Johnstone AM, Fyfe C, et al. Glucose uptake by the brain on chronic high-protein weight-loss diets with either moderate or low amounts of carbohydrate. *Br J Nutr* 111: 586–597, 2014.
52. Margolis LM, O'Fallon KS. Utility of ketone supplementation to enhance physical performance: A systematic review. *Adv Nutr* 11: 412–419, 2020.
53. Martin CK, Rosenbaum D, Han H, et al. Change in food cravings, food preferences, and appetite during a low-carbohydrate and low-fat diet. *Obesity (Silver Spring)* 19: 1963–1970, 2011.
54. Masood W, Uppaluri KR. Ketogenic diet. In: *StatPearls*. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing, 2020. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499830/. Accessed March 17, 2020.
55. McClernon FJ, Yancy WS, Eberstein JA, Atkins RC, Westman EC. The effects of a low-carbohydrate ketogenic diet and a low-fat diet on mood, hunger, and other self-reported symptoms. *Obesity* 15: 182, 2007.
56. McSwiney FT, Wardrop B, Hyde PN, et al. Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism* 81: 25–34, 2018.
57. Meckling KA, O'Sullivan C, Saari D. Comparison of a low-fat diet to a low-carbohydrate diet on weight loss, body composition, and risk factors for diabetes and cardiovascular disease in free-living, overweight men and women. *J Clin Endocrinol Metab* 89: 2717–2723, 2004.
58. Miller BV, Bertino JS, Reed RG, et al. An evaluation of the atkins' diet. *Metab Syndr Relat Disord* 1: 299–309, 2003.
59. Moreno B, Bellido D, Sajoux I, et al. Comparison of a very low-calorie-ketogenic diet with a standard low-calorie diet in the treatment of obesity. *Endocrine* 47: 793–805, 2014.
60. Nickols-Richardson SM, Coleman MD, Volpe JJ, Hosig KW. Perceived hunger is lower and weight loss is greater in overweight premenopausal women consuming a low-carbohydrate/high-protein vs high-carbohydrate/low-fat diet. *J Am Diet Assoc* 105: 1433–1437, 2005.
61. Noakes M, Foster PR, Keogh JB, et al. Comparison of isocaloric very low carbohydrate/high saturated fat and high carbohydrate/low saturated fat diets on body composition and cardiovascular risk. *Nutr Metab* 3: 7, 2006.
62. Nymo S, Coutinho SR, Torgersen LCH, et al. Timeline of changes in adaptive physiological responses, at the level of energy expenditure, with progressive weight loss. *Br J Nutr* 120: 141–149, 2018.
63. Paoli A, Grimaldi K, D'Agostino D, et al. Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. *J Int Soc Sports Nutr* 9: 34, 2012.
64. Phinney SD, Bistrian BR, Evans WJ, Gervino E, Blackburn GL. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism* 32: 769–776, 1983.
65. Phinney SD, Horton ES, Sims EAH, et al. Capacity for moderate exercise in obese subjects after adaptation to a hypocaloric, ketogenic diet. *J Clin Invest* 66: 1152–1161, 1980.
66. Pinckaers PJM, Churchward-Venne TA, Bailey D, van Loon. LJC. Ketone bodies and exercise performance: The next magic bullet or merely hype? *Sports Med* 47: 383–391, 2017.
67. Poffé C, Ramaekers M, Thienen RV, Hespel P. Ketone ester supplementation blunts overreaching symptoms during endurance training overload. *J Physiol* 597: 3009–3027, 2019.
68. Rhyu H, Cho S-Y. The effect of weight loss by ketogenic diet on the body composition, performance-related physical fitness factors and cytokines of Taekwondo athletes. *J Exerc Rehabil* 10: 326–331, 2014.
69. Roberts BM, Helms ER, Trexler ET, Fitschen PJ. Nutritional recommendations for physique athletes. *J Hum Kinet* 71: 79–108, 2020.
70. Robinson SL, Lambeth-Mansell A, Gillibrand G, Smith-Ryan A, Bannock L. A nutrition and conditioning intervention for natural bodybuilding contest preparation: Case study. *J Int Soc Sports Nutr* 12: 20, 2015.
71. Ruth MR, Port AM, Shah M, et al. Consuming a hypocaloric high fat low carbohydrate diet for 12 weeks lowers C-reactive protein, and raises serum adiponectin and high density lipoprotein-cholesterol in obese subjects. *Metabolism* 62: 1779–89, 2013.
72. Saslow LR, Kim S, Daubenmier JJ, et al. A randomized pilot trial of a moderate carbohydrate diet compared to a very low carbohydrate diet in overweight or obese individuals with type 2 diabetes mellitus or prediabetes. *PLoS One* 9: e91027, 2014.
73. Schiavo L, Pilone V, Rossetti G, et al. A 4-week preoperative ketogenic micronutrient-enriched diet is effective in reducing body weight, left hepatic lobe volume, and micronutrient deficiencies in patients undergoing bariatric surgery: A prospective pilot study. *Obes Surg* 28: 2215–2224, 2018.

74. Scott JM, Deuster PA. Ketones and human performance. *J Spec Oper Med* 17: 112–116, 2017.
75. Slater G, Phillips SM. Nutrition guidelines for strength sports: Sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. *J Sports Sci* 29(Suppl 1): S67–S77, 2011.
76. Soenen S, Bonomi AG, Lemmens SGT, et al. Relatively high-protein or "low-carb" energy-restricted diets for body weight loss and body weight maintenance? *Physiol Behav* 107: 374–380, 2012.
77. Sondike SB, Copperman N, Jacobson MS. Effects of a low-carbohydrate diet on weight loss and cardiovascular risk factor in overweight adolescents. *J Pediatr* 142: 253–258, 2003.
78. Stubbs BJ, Cox PJ, Evans RD, et al. A ketone ester drink lowers human ghrelin and appetite. *Obesity (Silver Spring)* 26: 269–273, 2018.
79. Stubbs BJ, Cox PJ, Evans RD, et al. On the metabolism of exogenous ketones in humans. *Front Physiol* 8: 848, 2017.
80. Sumithran P, Proietto J. Ketogenic diets for weight loss: A review of their principles, safety and efficacy. *Obes Res Clin Pract* 2: I–II, 2008.
81. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P. Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *Europ J Appl Physiol* 55: 362–366, 1986.
82. Trexler ET, Hirsch KR, Campbell BI, Smith-Ryan AE. Physiological changes following competition in male and female physique athletes: A pilot study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 27: 458–466, 2017.
83. Vandoorne T, De Smet S, Ramaekers M, et al. Intake of a ketone ester drink during recovery from exercise promotes mTORC1 signaling but not glycogen resynthesis in human muscle. *Front Physiol* 8: 310, 2017.
84. Vargas S, Romance R, Petro JL, et al. Efficacy of ketogenic diet on body composition during resistance training in trained men: A randomized controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr* 15, 2018.
85. Volek J, Sharman M, Gómez A, et al. Comparison of energy-restricted very low-carbohydrate and low-fat diets on weight loss and body composition in overweight men and women. *Nutr Metab (Lond)* 1: 13, 2004.
86. Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, et al. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metab Clin Exp* 65: 100–110, 2016.
87. Volek JS, Sharman MJ, Love DM, et al. Body composition and hormonal responses to a carbohydrate-restricted diet. *Metab Clin Exp* 51: 864–870, 2002.
88. Westman EC, Tondt J, Maguire E, Yancy WS Jr. Implementing a low-carbohydrate, ketogenic diet to manage type 2 diabetes mellitus. *Expert Rev Endocrinol Metab* 13: 263–272, 2018.
89. Westman EC, Yancy WS, Edman JS, Tomlin KF, Perkins CE. Effect of 6-month adherence to a very low carbohydrate diet program. *Am J Med* 113: 30–36, 2002.
90. Westman EC, Yancy WS, Mavropoulos JC, Marquart M, McDuffie JR. The effect of a low-carbohydrate, ketogenic diet versus a low-glycemic index diet on glycemic control in type 2 diabetes mellitus. *Nutr Metab* 5: 36, 2008.
91. Wheless JW. History of the ketogenic diet. *Epilepsia* 49: 3–5, 2008.
92. Wilson JM, Lowery RP, Roberts MD, et al. The effects of ketogenic dieting on body composition, strength, power, and hormonal profiles in resistance training males. *J Strength Cond Res*, 2020. [Epub ahead of print.]
93. Wood RJ, Gregory SM, Sawyer J, et al. Preservation of fat-free mass after two distinct weight loss diets with and without progressive resistance exercise. *Metab Syndr Relat Disord* 10: 167–174, 2012.
94. Yancy WS, Olsen MK, Guyton JR, Bakst RP, Westman EC. A low-carbohydrate, ketogenic diet versus a low-fat diet to treat obesity and hyperlipidemia: A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med* 140: 769, 2004.
95. Ye F, Li X-J, Jiang W-L, Sun H-B, Liu J. Efficacy of and patient compliance with a ketogenic diet in adults with intractable epilepsy: A meta-analysis. *J Clin Neurol* 11: 26–31, 2015.
96. *Critical Analysis of Wilson et al's. 2017 Keto Study*. Sci-Fit, 2017. Available at: https://sci-fit.net/wilson-keto-analysis/. Accessed February 10, 2020.

From Strength and Conditioning Journal
Volume 42, Number 5, pages 108-115.

著者紹介

Adam Tzur：
Sci-Fit.netのオーナー。

Brandon M. Roberts：
The Strength Guysの研究教育部門の責任者。