Key Words【乳製品:dairy、持久力:endurance、栄養:nutrition、スポーツ栄養:sports nutrition、スポーツ医学:sports medicine】

筋グリコーゲンの回復と運動パフォーマンス に対する牛乳の効果:系統的レビュー

Effect of Milk on Muscle Glycogen Recovery and Exercise Performance : A Systematic Review

Laís M. R. Loureiro, ¹ M.Sc. Rafael de Melo Teixeira, ² M.Sc. Igor G. S. Pereira, ³ B.Sc. Caio E. G. Reis. ⁴ Ph.D. Teresa H. M. da Costa, ⁴ Ph.D.

要約

牛乳は運動後の回復を改善する 可能性のある、栄養豊富な飲料であ る。我々は本系統的レビューにおい て、牛乳の摂取がアスリートの筋グ リコーゲンの回復とその後の運動パ フォーマンスに及ぼす効果に関する エビデンスを再検討した。さらに、 アスリートが回復支援物質としての 牛乳をどのように利用できるかに関 して、実践的な助言も加える。文献 の調査は、系統的レビューとメタ分 析のための優先報告項目(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses statement) に従って、2020年4月 までのデータベースを利用して実 施した。本レビューには9件の研究 が含まれているが、それらは、牛乳、 チョコレート牛乳、または炭水化物 を添加した牛乳が、グリコーゲンの 再合成と運動パフォーマンスに及ぼ す効果を評価した研究である。炭水 化物補充飲料と比較すると、乳飲料 は同様の結果をもたらし、いずれかの優位性を示すエビデンスは見出せなかった。炭水化物を添加した牛乳、とりわけチョコレート牛乳は、特に十分な炭水化物の量が含まれている場合には、運動後の筋グリコーゲンの回復と運動パフォーマンスのためのスポーツドリンクとしての選択肢となる。乳飲料は、運動後の最適な短期的回復に役立つと思われる。

はじめに

持久系エクササイズによって起こる 代謝の変化について、またパフォーマンスと回復における栄養の役割については、絶えず研究が行なわれてきた。 蓄積されたデータからは、運動トレーニングに対する骨格筋の適応調節における炭水化物とタンパク質の役割が明らかになっている(1,3,8,11)。

長時間にわたる高強度のトレーニングセッションにより必要とされる多くのエネルギーは、アスリートに重要な

代謝の変化を引き起こす可能性がある。そのため、骨格筋は主として、炭水化物の貯蔵減少と筋タンパク質の分解増加から影響を受ける(23)。したがって、運動後の回復を最適化するために、十分な炭水化物とタンパク質を運動後に摂取することは、パフォーマンス目標を達成し、傷害を予防するための重要な対策である(29)。

レクリエーションレベルの活動的な人が、次のトレーニングセッションまで24時間かそれ以上の間隔がある場合、筋グリコーゲンを補充するためには、運動後に1日の食事全体で8~10g/kg/日の炭水化物を摂取することが必要である(30)。しかし、1日に1回以上のトレーニングを行なうか、高強度運動からの回復に24時間より短い時間しかない場合は、より速く筋グリコーゲンを再合成するための栄養対策が必要である(8)。

中~高強度の運動セッション間の短時間(3~6時間)での回復を考えた場合、最近のレビューによると、持久系エ

¹ Health Sciences Postgraduate Program, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil

² Human Nutrition Postgraduate Program, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil

³Department of Nutrition, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil

⁴Nutritional Biochemistry Laboratory, Department of Nutrition, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil

クササイズ後に直ちに炭水化物を摂取 することにより、筋グリコーゲンの補 充速度を高められることが示唆されて いる(2)。運動後最初の2時間の回復 中に、1.0~1.2g/kg/時の炭水化物を 摂取することにより、グリコーゲンの 補充を最大化できると思われる(2)。 しかし、炭水化物の摂取が最適以下(≦ 0.8 g/kg/時)の場合は、炭水化物とタン パク質との割合を3:1または4:1と して、 $0.3 \sim 0.4 \,\mathrm{g/kg/}$ 時のタンパク質 を追加することが筋グリコーゲンの回 復に有益であると思われる(8)。さら に、最適な量の炭水化物(1.2~1.6g/ kg)が提供されている場合は、筋グリコ ーゲンの回復をさらに速めるためにタ ンパク質を追加する必要はない(2)。

回復のための多種多様なスポーツ飲 料があるにもかかわらず、牛乳はその 栄養価の高さから注目に値する。牛 乳は、炭水化物と高品質のタンパク質 で構成され、すべての必須アミノ酸を 含み、グリコーゲンの再合成と筋タ ンパク質の合成に必要な基質を提供 する(21)。最近の調査では、運動後 に500mlの牛乳を摂取することによ り、筋の機能低下を制限し、筋痛の増加 を抑制し、それにより、パフォーマンス と回復の過程を促進することが確認さ れている(12.38)。さらに、運動直後に 牛乳を摂取することは、水分補給を増 すことにより回復を助けるが、それは 牛乳に含まれるミネラルと水分量によ って説明できる(21)。

運動後の回復を最大化するための簡単な栄養対策が必要であること、また牛乳が入手の容易な利用しやすい飲料であることを考慮すると、この系統的レビューの目的は、鍛錬者の成人アスリートにおける筋グリコーゲンの回復と、のちの運動パフォーマンスに対する牛乳の効果に関するエビデンスを、他の飲料と比較して簡潔にまとめることである。さらに我々は、各種の炭水化物源を添加することにより、アスリ

ートがどのように回復支援物質として の牛乳を利用できるかについて、実践 的な助言を提示する。

方法

検索手段

本系統的レビューは、PRISMA(系統 的なレビューとメタ分析のための重要 報告項目)に従って行なわれ(28)、論文 検索は2020年4月までに行なった。デ ータベースとして、PubMed、Scopus、 Web of Science Science Direct, Google Scholar、および ProQuestを利用し、検 索語は「Milk(牛乳)」AND「Recovery (回復)JAND [Exercise(運動)]OR 「Glycogen(炭水化物)」OR「Training (トレーニング) JOR [Athletes (アスリ ート)」とした。論文の偏りを減らすた め、検索には言語や発表年月日による 制限を設けなかった。また、その他の 関連する重要な記事や論文がないか、 参考文献のリストも調査した。検索は、 3名の著者(Laís、Rafael、Igor)がそれぞ れ独自に実施した。

研究の選択

レビューの対象に含める基準は PICOの定式化に基づいている。す なわち(a) 集団(Population)、(b) 介入 (Intervention)、(c) 比較(Comparisons) そして(d) 結果(Outcomes) であり、 我々はランダム化比較対象試験を選択 した。選択基準に含まれるのは(a) 健 康な成人アスリート、(b)介入群は牛乳 を摂取(牛乳、チョコレート牛乳[CM]、 および炭水化物添加牛乳)、(c)結果は コントロール群(CON)/プラセボ飲料 群(PL)との比較、および(d)運動後の筋 グリコーゲンの回復および/またはそ の後の運動パフォーマンスである。こ の選択基準を満たさなかった論文、レ ビュー、会議/学会の抄録、学位論文、 書籍の該当する章などは除外した。

我々は、「運動後における筋グリコー ゲンの回復」を、グリコーゲンを枯渇さ せる運動セッション後の休憩時間に実験的な飲料摂取を行ない、有意な筋グリコーゲンの増加が認められた場合に回復とみなした。「その後の運動パフォーマンス」に関しては、グリコーゲンを枯渇させる運動後の回復時間に実験的飲料の摂取を行ない、運動テストを実施した結果を評価した。アスリートのトレーニングレベルはそれぞれの研究に述べられているとおりである。我々はトレーニング経験のある参加者(身体的に活動的なアスリートで)を評価した研究を選択した。

研究の選択仮定は4段階(確認、スク リーニング、適格性審査、対象に含め る)を3名(Laís、Rafael、Igor)が独立し て調査して実施した。第1段階では、デ ータベースを検索して記録を確認し、 重複する記録は取り除いた。第2段階 では、論文を表題と抄録に基づいてス クリーニングし、選択基準に該当しな いものは除外した。第3段階において、 残っている論文を全文通読し、適格性 を調査し、基準を満たさなかった論文 は理由をつけて除外した。3名の評価 者の意見が相違した場合は、4番目の評 価者(Caio)により解決された。最終的 に、第4段階で残った研究に対し詳細 な分析を実施した。さらに、我々は選 択された論文内の参考文献も綿密に調 査した。

データの抽出

データ抽出は著者2名(Laís、Rafael)がそれぞれ個別に行ない、エラーの可能性を避けるために比較した。相違はこれら2名の評価者により解決されたが、必要であれば、第3と第4の評価者(Caio、Teresa)により解消された。著者と発表期日、研究参加者の特徴、研究デザイン、枯渇させる運動、介入処方(飲料の種類、多量栄養素内容と炭水化物対タンパク質比)、およびその後に実施された運動(パフォーマンステスト)の情報が選択された研究から抽出され

た。我々はまた、グリコーゲンの回復に関係がある主たる重要な結果(筋バイオプシー検査からのデータ)と回復期間後のパフォーマンス(後続運動パフォーマンス)も整理した。データは標準化されたスプレッドシート中に抽出され、表1にまとめられた。

結果

データベースからは、1,473件の研究論文が検索された。重複(n=488)を除外したのち、表題と抄録に基づいて不適当な論文(n=967)、および基準を満たさなかった論文(n=9)は理由をつけて除外した。その結果、9件の研究がレビューに含まれた。「理由をつけて除外された」研究は参考文献リストに加

えられた(15,27,29,31,33,36,37,41,47)。 選択された研究はすべて、牛乳に関し て行なわれたものである。**図1**に文献 検索と研究論文の選択に関するフロー チャートを示す。

筋グリコーゲンの回復

筋バイオプシーはグリコーゲンの回復を評価するためのゴールドスタンダードである。筋バイオプシーは正確な結果を提供するが、被験者に潜在的な不快感を与え要求が厳しいため、実施は難しい(19)。このような背景から、高強度運動に続く牛乳の摂取後に筋グリコーゲンの回復を評価するために筋バイオプシーを用いたのは3つの研究のみであった(16,23,25)。

Ferguson-Stegallら(16)は、中~高 強度の運動(自転車を70% VO₂max で1.5時間漕ぎ、45%と90% VO₂max での1分のインターバルを5回挟む) ののち4時間の回復中に、CMと等 カロリーの炭水化物補充飲料(CR: carbohydrate replacement drink) (ブ ドウ糖)による摂取をPLと比較し、有 意に高い筋グリコーゲンの再合成効果 を得た。全体として、低脂肪のCM飲 料は、1.9g/kgの炭水化物、0.6g/kgの タンパク質と0.3g/kgの脂肪を含んで いた。運動直後と2時間の回復期の間 に2回摂取した(1回摂取量は炭水化物 が 0.8 g/kg、タンパク質が 0.3 g/kg、脂 質が0.15g/kg)。

Kammerら(23)は、中強度の運動

	表1 牛乳の抗	摂取と筋グリ	コーゲンの回復	夏および後続運動 <i>σ</i>)パフォーマン	スに関して選	択された研究の特	徴
著者	サンプル (VO₂max)	デザイン	枯渇目的の 運動	処置 (摂取回数)	総摂取量 g/kg	CHO: PTN	パフォーマンス テスト	結果。
結果:GLY回復								
Ferguson- Stegall 6 (16)	♂5名♀5名 自転車競技選 手とトライア スロン選手 (52.6)	プラセボ	70%VO₂max で自転車90 分 +10 分 HIIT	1) CM 2) CRブドウ糖 と菜種油 3) PL: フレー バーウォー ター (2用量)	PTN 0.6 脂質 0.3	1)3.2:1	NA	4 時間の回復 CMとCR:PL と 初期GLYに 対し↑GLY
Kammer 5 (23)	♂8名♀4名 自転車競技選 手とトライア スロン選手 (61.0/46.4)	RCT	60 ~ 65% VO ₂ maxで自 転車120分	1)全粒粉シリア ル+無脂肪乳 2)CR (1用量)	1) CHO 1.1 PTN 0.3 2) CHO 1.1	1)3.6:1	NA	1 時間の回復 中 シ リ ア ル +牛乳および CR:初期GLY より↑GLY
Lunn 6 (25)	♂8名 ランナー b	RCT	65% V O ₂ max でランニング 45分	1) CM 2) CON: 甘味添 加 (1用量)	1) CHO 0.8 PTN 0.2 2) CHO 1.0	1)4:1	NA	1 時間の回復: NS
結果:回復行	多のパフォーマ	ンス						
Karp 6 (24)	♂9名 自転車競技選 手(65.0)	SBRCT	自転車HIIT	1) CM 2) CR 3) FR (2用量)	1) CHO 2.0 PTN 0.6 2) CHO 2.0 PTN 0.6 3) CHO 0.8	1)3.3:1 2)3.3:1	4時間の回復後、 70%VO ₂ maxで の自転車TTE	
Thomas è (45)	♂9名 自転車競技選 手 (72.8)	RCT	自転車HIIT	1) CM 2) CR 3) FR (2用量)	1) CHO 1.8 PTN 0.4 脂質 0.2 2) CHO 2.0 PTN 0.6 3) CHO 0.8	1) 4.5 : 1 2) 3.3 : 1	自転車: 4 時間の回復後70%VO ₂ maxでのTTE	

表 1	1 牛乳の摂取る	と筋グリコー	・ゲンの回復お。	とび後続運動のパス	フォーマンスに	関して選択さ	れた研究の特徴(ご	つづき)
著者	サンプル	デザイン	枯渇目的の	処置	総摂取量	CHO:	パフォーマンス	結果 ^a
結里・同復 額	(VO₂max) 後のパフォーマ	ンマ	運動	(摂取回数)	g/kg	PTN	テスト	
Lunn 6 (25)	♂8名 ランナー ^b	RCT	65%VO ₂ max でのランニン グ 45 分	1) CM 2) CON: 甘味添 加 (1用量)	1) CHO 0.8 PTN 0.2 2) CHO 1.0	1) 4:1	ランニング: 3時間の回復後 100%VO₂max でのTTE	
Ferguson- stegall 6 (16)	♂5名♀5名 自転車競技選 手とトライア スロン選手 (52.6)	DBRCT、 プラセボ 対照試験	で自転車90	1) CM 2) CR: ブドウ 糖と菜種油 3) PL: フレー バーウォーター (2用量)	1) CHO 1.9 PTN 0.6 脂質 0.3 2) CHO 2.5 脂質 0.3	1)3.2:1	自転車: 4 時間 の回復後40 km のTT	
Upshaw 6 (46)	♂8名 自転車競技選 手(61.2)	DBRCT、 プラセボ 対照試験	自転車HIIT	1) CM 2) MILK 3) HCM 4) SCM 5) PL: 低カロ リー甘味飲料 (5用量)	1) CHO 1.1 PTN 0.2 脂質 0.2 2) CHO 0.7 PTN 0.5 脂質 0.2 3) CHO 1.0 PTN 0.2 脂質 0.3 4) CHO 1.1 PTN 0.3 脂質 0.2 5) CHO 0.2	1)5:1 2)1.5:1 3)5:1 4)3.3:1	自転車: 20km のTT	CM、MILK、 HCMお よ び SCM:PLに対 して↓TT
Pritchett 5 (34)	♂10名 自転車競技選 手とトライア スロン選手 (55.2)	RCT	自転車: 3× 10 秒のウィ ンゲートスプ リントを6回	1)CM 2)CR (2用量)	1) CHO 2.0 PTN 0.6 脂質 0.2 2) CHO 2.0 PTN 0.6	1)3.3:1 2)3.3:1	15 ~ 18 時間 の回復後85% VO ₂ maxの自転 車でのTTE	NS
Gilson 6 (17)	♂13名 サッカー選手 [©]	RCT	持続時間を 25%延長し てサッカーに 特異的なト レーニングを 4日間	1)CM 2)CR (1用量/日)	1) CHO 1.1 PTN 0.4 脂質 0.1 2) CHO 1.5	1)2.8:1	修 正 プ ロ ア ジ ティテストと垂 直跳びテスト	NS
Pritchett 6 (35)	♂10名 自転車競技選 手とトライア スロン選手 (55.2)	RCT	自転車:1週 間のトレーニ ング少なくと も32km/日)	1)CM 2)CR (2用量/日)	1) CHO 2.0 PTN 0.6 脂質 0.2 2) CHO 2.0 PTN 0.6	1)3.3:1 2)3.3:1	1週間のトレー ニ ン グ 後 に 85%VO₂maxの 自転車でのTTE	NS

(60% VO₂maxで2時間自転車を漕ぐ) ののち、1時間の回復中に、シリアルと ともに摂取した牛乳と等カロリーの CRが筋グリコーゲンの再合成に及ぼ す影響を調査した。全粒粉のシリアル と合わせて350mlの無脂肪乳を与え、 1.1 g/kgの炭水化物と0.3 g/kgのタン パク質を提供した。筋バイオプシーの 標本は運動直後と飲料摂取後1時間で 採取された。さらに、Lunnら(25)も、 中強度の運動(65% VO₂maxで45分の ランニング)後の回復中に、CMと等カ ロリーのCRの間で筋グリコーゲン再 合成にはいかなる差も認められなかっ た。無脂肪のCM飲料は0.8g/kgの炭 水化物と0.2g/kgのタンパク質を含ん でいた。

これらの結果を要約すると、筋バイオプシーで評価した際、短期の筋グリコーゲン再合成に対し、CMは等カロリーのCRと類似の効果を与えたことが示された。総合的に、 $60\sim70\%$ $\dot{V}O_2$ maxで45分から2時間までの持久系エクササイズ後、2時間の回復中における低脂肪CM摂取により、 $0.8\sim1.1$ g/kgの炭水化物と $0.2\sim0.3$ g/kgのタンパク質(炭水化物対タンパク質比3:1)、および $0.0\sim0.15$ g/kgの脂質が提供された。

回復後のパフォーマンス

筋グリコーゲンの回復は、運動プロトコルを用いてアスリートのパフォーマンスを評価することにより、間接的に推測できる。本レビューでは、高強度運動後の回復中に乳飲料を摂取し、その後に行なった運動パフォーマンスを評価した8件の研究を分析した(16,17,24,25,34,35,45,46)。

各研究で用いられた乳飲料により提供される多量栄養素の摂取量は、およそ $0.7 \sim 1.1\,\mathrm{g/kg}$ の炭水化物と $0.2 \sim 0.5\,\mathrm{g/kg}$ のタンパク質、および $0.1 \sim 0.3\,\mathrm{g/kg}$ の脂質である。用いられた研究方法は、グリコーゲンの枯渇プロト

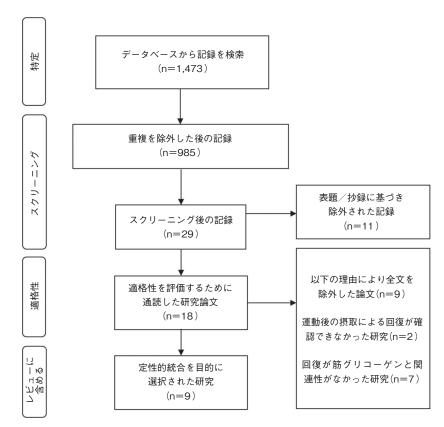


図 乳飲料摂取後のグリコーゲンの回復に関連のある論文の検索と 選択に関するフローチャート

コルや運動方法、およびパフォーマンスの試験結果に関して様々に異なっていた。

Karprraら(24) およびThomasら (45)は、CMを用いたパフォーマンス テストで、疲労困憊までの時間(TTE: time to exhaustion) がCRと比べて有 意に改善したことを観察した。彼らの プロトコルでは、自転車競技選手がグ リコーゲンを枯渇させる間欠的運動を 疲労困憊するまで行ない、4時間の回 復後、さらに次のTTEパフォーマンス テストを行なった。回復中に、参加者 は2回摂取量のCM、CRまたは水分補 充飲料(FR: fluid replacement drink) をクロスオーバーデザインで与えられ た。Karpら(24)の研究においては、炭 水化物対タンパク質を3.3:1の割合で 含むCMと等カロリーのCRを摂取させ た。またThomasら(45)は、炭水化物対 タンパク質を3.3:1の比率で含むCR および4.5:1の比率のCMを提供した。

Lunnら(25)の研究によると、グリコーゲンの再合成に差はなかったにもかかわらず、グレープ味の甘味飲料(CON)と比べ、CMのTTEパフォーマンスが有意に高かった。ランナーは45分間で筋グリコーゲンを使い果たし、3時間の回復の最初にCMまたはCONの1回摂取量が与えられた。回復後、被験者は疲労困憊まで走った。2種類の飲料は等カロリーであったが、CMは0.8g/kgの炭水化物と0.2g/kgのタンパク質(比率4:1)が含まれ、一方CRには炭水化物(1.0g/kg)だけが含まれていた。

他の研究はタイムトライアル(TT: time trial)のパフォーマンステストにおいて、他の飲料と比較して、乳飲料によるパフォーマンスの有意な向上を示している。Ferguson-Stegallら(16)の研究は、CMに関して、CRやPLと比べより高い筋グリコーゲンの再合成率を伴う、より速いTTパフォーマン

スとより高いパワー発揮(PO: power output)を観察した。アスリートは70% $\dot{V}O_2$ maxで90分間自転車を漕ぎ、次いで、45%と90% $\dot{V}O_2$ maxでのインターバルを1分ずつ交互に10分間行なった。参加者は4時間の回復中に、摂取量の飲料(CM、CR、またはPL)を2回(運動直後と2時間後)与えられた。

また、Upshawら(46)は、等エネルギ - の乳飲料と植物由来の飲料に関し て、PLに比べ、より速い20kmのTTパ フォーマンスを観察した。アスリート は疲労困憊までグリコーゲンを枯渇さ せる高強度インターバル運動を行な ったのち、それに続いて4時間の回復 時間を取り、その後に20kmのTTパフ ォーマンステストを行なった。最初 の2時間に、参加者は5回にわたり(時 間0、0.5、1.0、1.5 および2.0 時間) 摂取 量のCMか大豆CM(SCM: soy CM)、 ヘンプ添加CM(HCM: hemp CM)、低 脂肪乳(MILK)またはPL(市販の低カ ロリーのレモン風味飲料)を摂取した。 飲料は等しいカロリーであった。含ま れる多量栄養成分の違いにより、類似 のエネルギー量になるように摂取量は 調節されていた。最小摂取量の飲料は CM(1.2ℓ)で、最大摂取量はMILKと $PL(2.2\ell)$ であった。

Pritchettら(34)、Gilsonら(17) およ びPritchettら(35)により実施された実 験もまた、乳飲料の摂取により、その後 の運動パフォーマンスに関して同様 の結果が得られている。Gilsonら(17) は、サッカー選手を対象に実験を行な い、1週間ベースラインのトレーニング を完遂してから、グリコーゲンを枯渇 させる運動として4日間トレーニング 継続時間を延長した(ITD: increased training duration)。被験者は、毎日 ITD後に、1回の摂取でCMまたは同 等エネルギーのCRのどちらかを与え ら れ た。CMは1.1 g/kgの 炭 水 化 物 と 0.4 g/kgの タンパク 質および 0.1 g/ kgの脂質を提供し、炭水化物とタン

パク質の比率は2.8:1であった。CRは1.5g/kgの炭水化物を提供した。パフォーマンステストをITDセッション内で実施したところ、群間の差は示されなかった。

さらに、Pritchettら (34) とPritchett ら (35) は、グリコーゲン枯渇運動 (それぞれ、3×10 秒を6回のウィンゲートスプリントまたは1週間のトレーニング期間)を行なったのち、85% \dot{V} O₂maxでの自転車TTEのパフォーマンスに対し、CMはCRと比べ、より優れた効果は認められなかった。どちらの研究も、アスリートは2時間の回復時間中に2回(時間0と2時間後)摂取量の等カロリーのCMを提供された。各摂取量は、1.0g/kgの炭水化物、0.3g/kgのタンパク質、そして 0.15 g/kgの脂質が含まれ、炭水化物対タンパク質比は 3.3:1 であった。

パフォーマンスプロトコルを用いた8件のうち4件の研究だけが、実験の盲検性について言及した。Ferguson-Stegallら(16)とUpshawら(46)は、二重盲検プロトコルを用いたと説明し、一方Karpら(24)は単純盲検プロトコルを用いた。Lunnら(25)は、「摂取を盲検的に割り当てること」は不可能だとみなした。他の4件の研究には、盲検過程についていかなる情報も含まれていなかった(17,34,35,46)。さらに、Kammerら(23)は、食物の形態の違いにより、盲検法での試験は実施できなかった(筋グリコーゲン回復結果)と述べた。

考察

本系統的レビューの目的は、乳飲料が筋グリコーゲンの回復とその後の運動パフォーマンスに及ぼす効果のエビデンスをまとめることである。総合すると、運動後の乳飲料は、市販の炭水化物補給飲料と同程度の効果を示した。しかし、提示された結果からは、CMまたはその他のいかなる牛乳を含む飲料

も、また牛乳を含む飲料の組み合わせ も、等カロリーの炭水化物とタンパク 質との組み合わせよりも、ワークアウ ト後の筋グリコーゲンの回復やその後 の運動パフォーマンスにより良い効果 を与えたことは示唆されなかった。

高品質で栄養成分の豊富な飲料であ る牛乳には、100 ml当たり 4.80 gの炭水 化物と3.15gのタンパク質が含まれて いる。脂質の成分量は無脂肪乳と全乳 で、それぞれ 0.0 gと 3.25 g/100 mlであ る(10)。PoweradeやGatoradeなどの スポーツドリンクと比べても、牛乳に は同程度の電解質(ナトリウムやカリ ウムなど)が含まれているため、運動後 の水分補給に適している(40)。また、 牛乳は胃内容排出率が低く、等カロリ ーのスポーツドリンクよりも胃の不快 感は少ない(20,48)。乳タンパク質は すべての必須アミノ酸を含み、80%の カゼイン、20%のホエイタンパク質に 分かれる。前者は血中アミノ酸濃度を ゆっくり長時間増大させ、後者は筋の 回復に役立つ(21)。ラクトース(乳糖) は運動後の効率の良い炭水化物源であ り、肝臓と筋の両方のグリコーゲンを 補充する(14)。ガラクトースは肝臓で グルコースに変換され、その後血糖値 を上げて、筋グリコーゲンの回復に利 益をもたらす(4,7,18,42)。

しかし、炭水化物が添加されていない回復用乳飲料は、炭水化物の成分量 $(4.80\,\mathrm{g}/100\,\mathrm{ml})$ が不十分であるため、筋グリコーゲンの最大化には適切ではないと思われる (10)。筋グリコーゲンの再合成を最大化する炭水化物の推奨量を摂取するためには、運動後に大量の牛乳を摂取することが必要である (最初の2時間に $1.0 \sim 1.2\,\mathrm{g/kg/lepte}$ 摂取) (44)。例えば、 $70 \sim 84\,\mathrm{g}$ の炭水化物を体重 $70\,\mathrm{kg}$ のアスリートが摂取するには、 $1.5 \sim 1.75\,\ell$ 、すなわち約50~60オンスの牛乳を飲まねばならない。Upshawらは炭水化物が添加されていない牛乳の効果を等カロリーの牛

乳由来および植物由来の加糖飲料と比較した(CM、SCMおよびHCM)。炭水化物が添加されていない牛乳は、同等のエネルギー量を達成するためには他の3つの方法よりほぼ1 ℓ 多い容量を摂取する必要があった。それにもかかわらず、牛乳の炭水化物含有量は加糖飲料には達しなかった(平均炭水化物の差17~26g)(46)。こういったことから、炭水化物を追加した乳飲料は、炭水化物が添加されていない牛乳と比べ、より少ない量でより多くの炭水化物を提供するため、アスリートの運動後の回復により優れた選択である(21)。

本レビューに含まれた研究の中で、 現在の推奨基準に従って十分な成分 量の炭水化物を含む飲料(1.0~1.2g/ kg/時)は(44)、炭水化物対タンパク質 比で3:1~4:1になるように、牛乳 に炭水化物が添加されていた。この多 量栄養素比率はすでに広範囲に調査さ れている(2,8)。しかし、重要なことと して、それ以外の炭水化物対タンパク 質比、例えば5:1あるいは6:1が、筋 グリコーゲンの回復とその後における エクササイズのパフォーマンスにとっ て最良の比率であるかを解明するため には、さらに調査が必要であるという ことを強調しておく。また、最もよく 利用されてはいるが、チョコレートが 牛乳に添加する唯一の炭水化物源とい うわけではない。シリアルと牛乳の組 み合わせを評価した研究では、CRと同 程度の筋グリコーゲンの回復効果が得 られていた(23)。

グルコース(ブドウ糖)やスクロース(ショ糖)などのグリセミック指数の高い炭水化物が飲料に加えられると、グリコーゲンの回復には有益である(6,9)。この理由から、研究者は主にCMを砂糖風味の選択肢として調査した。CMの摂取は、運動後の回復において良好な結果を得ている。8件の研究のうち5件で、結果は牛乳由来

飲料とCRの間でほぼ同程度であった (17,24,34,35,46) しかも、3件では、CM が運動後のパフォーマンステストで CRを上回った(16,25,45)。さらに、筋 グリコーゲンの再合成を評価した研究 では、CMは炭水化物CON飲料より優れているか(16)、または同等であった (25)。

牛乳は回復飲料として優れた選択 肢であると思われる。しかし、若干の 研究は主に方法論的な限界により、肯 定的な結果を得ることができなかっ た。筋グリコーゲンの回復を評価した 研究の中で、Kammerら(23)とLunnら (25)は、回復期間前にグリコーゲンの 貯蔵を効果的に枯渇させることができ なかったと述べた。プロトコルにおい て筋グリコーゲンを使い果たすことが できなければ、アスリートが競技中に 耐える実際の状況を過小評価すること になる。その結果、筋グリコーゲンを 補充する乳飲料の潜在的能力は隠され ているか、または見出されない(22)。 Kammerらはまた、筋バイオプシーの 適切なタイミングを知ることの難しさ も強調した(23)。筋グリコーゲン含有 量はバイオプシーサンプル収集のタイ ミングによって影響を受けることがあ りうる。早く行なわれた場合は、筋グ リコーゲンの再合成がまだ進行中であ り、結果は過小評価される可能性があ るだろう(5.32)。さらに、のちの運動パ フォーマンスを評価した研究を解析す ると、重要で持続的な制限として、PL 効果を避けるための参加者の盲検に失 敗していることが明らかとなった。本 レビューでは、Karpら(24)、Ferguson-Stegallら(16)、およびUpshawら(46)だ けが単純盲検または二重盲検プロトコ ルを用いた。サプリメントの摂取を自 覚することは、スポーツ栄養研究に内 在する固有の問題であり、パフォーマ ンスの結果に影響を及ぼし、重大なバ イアスをもたらす危険性がある(39)。

牛乳は回復飲料として優れた選択肢

ではあるが、乳タンパク質にアレルギ ーのあるアスリートや乳糖不耐症のア スリートには望ましくない。運動中に おける胃腸の不快感を避けるための 栄養摂取には、乳糖を含まない無乳糖 乳(LFM: lactose-free milk)が合理的 な選択肢として推奨される(13)。だ が、LFMがパフォーマンスに及ぼす効 果を調査した研究はきわめて少ない。 調査結果からは、筋力とパワーの変数 (26) と自転車のTTE(43) に関して、 LFMおよび市販の回復飲料(スポーツ ドリンク) に類似の効果があることが 示されている。これらの研究では乳糖 不耐症のわずかな不快症状も報告さ れていない。しかし、持久系エクササ イズ後のグリコーゲンの回復に対する LFMの効果については、さらなる調査 を行なう必要がある。

炭水化物添加牛乳を摂取することの利益にもかかわらず、冷蔵の必要性やトレーニング場所までの運搬など、牛乳には便利さが欠ける可能性もある。この状況に対する選択肢としては、運搬の手軽さから、市販されている冷蔵不要の1食分のパック牛乳、または、粉ミルクの利用が考えられる。摂取時、粉ミルクに適切な量の水を加えることができる。クロートパウダーまたは砂糖など)を加えることができる。

現場への応用

以上の結果は、乳飲料が他のスポーツドリンクの選択肢と同等の効果があることを示唆している。したがって、我々は、筋グリコーゲンの回復を促進するための炭水化物(チョコレートパウダー、砂糖、シリアル)を添加した乳飲料を準備することを、現場のコーチやアスリートに推奨する。運動後の回復を最適化するために、牛乳を各種炭

水化物源と組み合わせるための選択肢 を表2に紹介する。この計算はスポー ツ栄養の推奨基準に基づいたもので、 70kgのアスリートを想定している。 すなわち、1.0g/kgの炭水化物、0.3g/ kgのタンパク質を3:1から4:1の割 合で含んでいる。この目標を達成する ためには、70kgのアスリートはチョコ レートパウダー45gか砂糖40g、また はシリアル45gを650mlの牛乳に加 えて摂取することが必要である。また は80gの粉ミルクにチョコレートパウ ダー45gまたは砂糖を35g加えてもよ い。そして乳飲料を中~高強度の運動 後最初の1時間に摂取することが推奨 される。表2の脚注には、市販されて いる様々なブランドの栄養食品例を挙 げた。

おわりに

最新のエビデンスに基づくと、炭水 化物を添加した乳飲料、特にCMは、筋 グリコーゲンの回復とその後の運動パ フォーマンスの向上に適したスポーツ ドリンクの選択肢であると思われる。 この飲料は、3~4gの炭水化物と1g のタンパク質という適切な比率で十分 な炭水化物を提供する。さらに、牛乳 由来の飲料が他の炭水化物とタンパク 質を組み合わせた飲料よりも、筋グリ コーゲンの回復やその後の運動パフォ ーマンスに、一層優れた効果があると のエビデンスはない。しかし、牛乳は 安価であり、多くの運動シナリオの後 に容易に摂取できる食品の選択肢であ る。◆

謝辞

L. M. R. LoureiroはFAPDF (Foundation for Research Support of the Federal District, Brazil, Edital ProMD 2016)からの奨学金を受け、T. H. M. da CostaはCNPq(Brazilian National Technological and Scientific Development Council)から科学研究者助成金を受けた (number 308630/2017-3)。

表2 回復のための乳飲料の栄養成分:5つの選択肢								
	650	mlの牛乳ª+	80gの粉ミルクb+					
情報	チョコレート パウダー°	砂糖 ^d	シリアル ^e	チョコレート パウダー °	砂糖 ^d			
重量(g)	45	40	45	45	35			
総CHO(g)	71	73	71	73	74			
総CHO(g/kg)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
総PTN(g)	23	22	25	25	22.9			
総PTN(g/kg)	0.3	0.3	0.35	0.35	0.3			
CHO: PTN	3:1	3.3:1	3:1	3:1	3.2:1			
最終摂取量(ml)	700	700	700	f	f			

これらのレシピは、回復中最初の 1 時間に 1 回摂取する飲料として理想的である。体重 $70 \log 0.7$ リートの必要量: PTN 21 g(0.3 g/kg)、 CHO 70 g(1.0 g/kg)、 CHO: PTN $=3:1 \sim 4:1$ a パルマラット社製全乳 b フージャー・ヒル・ファーム製全脂粉乳 c ネスレ・ネスクイック チョコレートフレーバーパウンダー d ショ糖 e ゼネラルミルズ社製ウィーティーズ (シリアル食品) f 少なくとも $400 \mod 0.0 \mod 0.0$ が

References

 Alcantara JMA, Sanchez-Delgado G, Martinez-Tellez B, Labayen I, Ruiz JR. Impact of cow's milk intake on exercise performance and recovery of muscle function: A systematic review. J Int Soc Sports Nutr 16: 22, 2019.

CHO=炭水化物、PTN=タンパク質

- Alghannam AF, Gonzalez JT, Betts JA. Restoration of muscle glycogen and functional capacity: Role of post-exercise carbohydrate and protein co-ingestion. *Nutrients* 10: 253, 2018
- Amiri M, Ghiasvand R, Kaviani M, Forbes SC, Salehi-Abargouei A. Chocolate milk for recovery from exercise: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Eur J Clin Nutr* 73: 835–849, 2018.
- Barosa C, Silva C, Fagulha A, et al. Sources of hepatic glycogen synthesis following a milk-containing breakfast meal in healthy subjects. Metab Clin Exp 61: 250-254, 2012.
- Beelen M, Kranenburg JV, Senden JM, Kuipers H, Loon LJ. Impact of caffeine and protein on postexercise muscle glycogen synthesis. Med Sci Sports Exerc 44: 692-700, 2012
- Blom PC, Høstmark AT, Vaage O, Kardel KR, Maehlum S. Effect of different postexercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 19: 491–496, 1987.
- Burelle Y, Lamoureux MC, Péronnet F, Massicotte D, Lavoie C. Comparison of exogenous glucose, fructose and galactose oxidation during exercise using C-labelling. Br J Nutr 96: 56-61, 2006.
- Burke LM, van Loon LJC, Hawley JA. Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. J Appl Physiol 122: 1055–1067, 2017.
- 9. Casey A, Mann R, Banister K, et al. Effect

- of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by (13) CMRS. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 278: E65–E75, 2000.
- Chalupa-Krebzdak S, Long CJ, Bohrer BM. Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *Int Dairy J* 87: 84–92, 2018.
- 11. Close GL, Hamilton DL, Philp A, Burke LM, Morton JP. New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radic Biol Med* 98: 144–158, 2016.
- Cockburn E, Bell PG, Stevenson E. Effect of milk on team sport performance after exercise-induced muscle damage. Med Sci Sports Exerc 45: 1585-1592, 2013.
- De Oliveira EP, Burini RC, Jeukendrup A. Gastrointestinal complains during exercise: Prevalence, etiology, and nutritional recommendations. Sports Med 44: 79–85, 2014.
- 14. Décombaz J, Jentjens R, Ith M, et al. Fructose and galactose enhance postexercise human liver glycogen synthesis. Med Sci Sports Exerc 43: 1964–1971, 2011.
- 15. Dow K, Pritchett R, Roemer K, Pritchett K. Chocolate milk as a post-exercise recovery aid in division ii collegiate volleyball players. *WSPAJ* 27: 45–51, 2019.
- 16. Ferguson-Stegall L, McCleave EL, Ding Z, et al. Postexercise carbohydrate-protein supplementation improves subsequent exercise performance and intracellular signaling for protein synthesis. *J Strength Cond Res* 25: 1210–1224, 2011.
- 17. Gilson SF, Saunders MJ, Moran CW, et al. Effects of chocolate milk consumption on markers of muscle recovery following soccer training: A randomized cross-over study. *J Int Soc Sports Nutr* 7: 19, 2010.
- 18. Gonzalez JT, Fuchs CJ, Betts JA, van Loon

- LJ. Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab 311: E543-E553,
- 19. Greene J, Louis J, Korostynska O, Mason A. State-of-the-art methods for skeletal muscle glycogen analysis in athletes-The need for novel non-invasive techniques. Biosensors 7: 11. 2017.
- 20. James L. Milk ingestion in athletes and physically active individuals. Nutr Bull 37: 257-261, 2012.
- 21. James LJ, Stevenson EJ, Rumbold PLS, Hulston CJ. Cow's milk as a post-exercise recovery drink: Implications for performance and health. Eur J Sport Sci 19: 40-48, 2019.
- 22. Jentjens R, Jeukendrup A. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. Sports Med 33: 117-144,
- 23. Kammer L, Ding Z, Wang B, et al. Cereal and nonfat milk support muscle recovery following exercise. J Int Soc Sports Nutr 6: 11. 2009.
- 24. Karp JR, Johnston JD, Tecklenburg S, et al. Chocolate milk as a post-exercise recovery aid. Int J Sport Nutr Exerc Metab 16: 78-91,
- 25. Lunn WR, Pasiakos SM, Colletto MR, et al. Chocolate milk and endurance exercise recovery: Protein balance, glycogen, and performance. Med Sci Sports Exerc 44: 682-691, 2012.
- 26. Mallari MFT, Nana A, Pinthong M, et al. Effect of ad libitum intake of lactose-free milk on subsequent performance of collegiate badminton athletes. Ger J Exerc Sport Res 49: 266-274, 2019.
- 27. Miller SL, Maresh CM, Armstrong LE, et al. Metabolic response to provision of mixed protein-carbohydrate supplementation during endurance exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab 12: 384-397, 2002.
- 28. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and metaanalyses: The PRISMA statement. PLoS Med 6: e1000097, 2009.
- 29. Moore DR. Nutrition to support recovery from endurance exercise. Curr Sports Med Rep 14: 294-300, 2015.
- 30. Naderi A, de Oliveira EP, Ziegenfuss TN, Willems MT. Timing, optimal dose and intake duration of dietary supplements with evidence-based use in sports nutrition. JExerc Nutr Biochem 20: 1-12, 2016.
- 31. Papacosta E, Nassis GP, Gleeson M. Effects of acute postexercise chocolate milk consumption during intensive judo training on the recovery of salivary hormones, salivary SIgA, mood state, muscle soreness, and judorelated performance. Appl Physiol Nutr Metab 40: 1116-1122, 2015.
- 32. Pedersen DJ, Lessard SJ, Coffey VG, et al. High rates of muscle glycogen resynthesis

- after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. J Appl Physiol 105: 7-13, 2008.
- 33. Potter J, Fuller B. The effectiveness of chocolate milk as a post-climbing recovery aid. J Sports Med Phys Fitness 55: 1438-1444, 2015.
- 34. Pritchett K, Bishop P, Pritchett R, Green M, Katica C. Acute effects of chocolate milk and a commercial recovery beverage on postexercise recovery indices and endurance cycling performance. Appl Physiol Nutr Metab 34: 1017-1022, 2009.
- 35. Pritchett K, Pritchett R, Green JM, et al. Comparisons of post-exercise chocolate milk and a commercial recovery beverage following cycling training on recovery and performance. J Exerc Physiol 14: 29-39, 2011.
- 36. Rankin P, Landy A, Stevenson E, Cockburn E. Milk: An effective recovery drink for female athletes, Nutrients 10: 228, 2018.
- 37. Rankin P, Lawlor MJ, Hills FA, et al. The effect of milk on recovery from repeat-sprint cycling in female team-sport athletes. Appl Physiol Nutr Metab 43: 113-122, 2018.
- 38. Rankin P, Stevenson E, Cockburn E. The effect of milk on the attenuation of exerciseinduced muscle damage in males and females. Eur J Appl Physiol 115: 1245-1261, 2015.
- 39. Saunders B, de Oliveira LF, da Silva RP, et al. Placebo in sports nutrition: A proof-of-principle study involving caffeine supplementation. Scand J Med Sci Sports 27: 1240-1247, 2017.
- 40. Shirreffs SM, Watson P, Maughan RJ. Milk as an effective post-exercise rehydration drink. Br J Nutr 98: 173-180, 2007.
- 41. Spaccarotella KJ, Andzel WD. The effects of low fat chocolate milk on postexercise recovery in collegiate athletes. J Strength Cond Res 25: 3456-3460, 2011.
- 42. Stahel P, Kim JJ, Xiao C, Cant JP. Of the milk sugars, galactose, but not prebiotic galacto-oligosaccharide, improves insulin sensitivity in male Sprague-Dawley rats. PLoS One 12: e0172260, 2017.
- 43. Sudsa-Ard K, Kijboonchoo K, Chavasit V, et al. Lactose-free milk prolonged endurance capacity in lactose intolerant Asian males. J Int Soc Sports Nutr 11: 49, 2014.
- 44. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Nutrition and athletic performance. Med Sci Sports Exerc 48: 543-568, 2016.
- 45. Thomas K, Morris P, Stevenson E. Improved endurance capacity following chocolate milk consumption compared with 2 commercially available sport drinks. Appl Physiol Nutr Metab 34: 78-82, 2009.
- 46. Upshaw AU, Wong TS, Bandegan A, Lemon PW. Cycling time trial performance 4h following glycogen-lowering exercise is enhanced similarly with recovery non-dairy chocolate beverages vs chocolate milk. Int 1 Sport Nutr Exerc Metab 26: 65-70, 2016.
- 47. Wan HY, Stickford JL, Dawkins EJ,

- Lindeman AK, Stager JM. Acute modulation in dietary behavior following glycogen depletion and postexercise supplementation in trained cyclists. Appl Physiol Nutr Metab 43: 1326-1333, 2018.
- 48. Watson P, Love TD, Maughan RJ, Shirreffs SM. A comparison of the effects of milk and a carbohydrate-electrolyte drink on the restoration of fluid balance and exercise capacity in a hot, humid environment. Eur J Appl Physiol 104: 633-642, 2008.

From Strength and Conditioning Journal Volume 43, Number 4, pages 43-52.

著者紹介



Laís M.R.Loureiro: University of Brasilia栄養学部 の栄養生化学研究室に所属す る博士課程の学生。



Rafael de Melo Taixeria: University of Brasilia栄養学部 の人間栄養学大学院プログラ ムに在籍する修士課程の元学



Igor G. S. Pereira: University of Brasilia栄養学部 の学部生。



Caio. E. G. Reis: University of Brasilia栄養学部 の助教。



Teresa H. M. da Costa: University of Brasilia栄養学部 の教授で、栄養生化学研究室の ディレクターを務める。