

Keywords 【緊張下時間：time under tension、レジスタンストレーニング：resistance training、  
ストレングストレーニング：strength training、ベンチプレス：bench press、上肢：upper limbs】

# レクリエーションレベルのトレーニング経験者におけるベンチプレス中の筋の緊張下時間の分析：系統的レビュー

Analysis of Time Under Tension in Bench Press Exercise in Recreationally Trained Individuals: A Systematic Review

Giullio Cé sar Pereira Salustiano Mallen da Silva,<sup>1,2</sup> M.Sc. Vicente Pinheiro Lima,<sup>1,2</sup> Ph.D.

Andressa Oliveira Barros dos Santos,<sup>1,2</sup> M.Sc. Juliana Brandão Pinto de Castro,<sup>1,2</sup> Ph.D.

Yuri Rolim Lopes Silva,<sup>1,2</sup> M.Sc. Guilherme Rosa,<sup>3</sup> Ph.D.

Rodolfo de Alkmim Moreira Nunes,<sup>1,2</sup> Ph.D. Rodrigo Gomes de Souza Vale,<sup>1,2,4</sup> Ph.D.

<sup>1</sup> Postgraduate Program in Exercise & Sport Sciences, Rio de Janeiro State University, Rio de Janeiro, Brazil;

<sup>2</sup> Laboratory of Exercise & Sport, Institute of Physical Education & Sports, Rio de Janeiro State University, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>3</sup> Department of Physical Education and Sports at the Rural Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>4</sup> Laboratory of Exercise Physiology, Estácio de Sá University, Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brazil

## 要約

本稿の目的は、レクリエーションレベルのトレーニング経験者のベンチプレスパフォーマンスにおける筋の緊張下時間(TUT：time under tension)の挙動を分析することである。PRISMAに基づく系統的レビューを行ない、PROSPEROに登録した(CRD42022301830)。論文検索は、MEDLINE (PubMed)、Scopus、SPORTDiscus、およびLilacs (BVS)のデータベースから、(resistance training [タイトル/抄録])または(strength training [タイトル/抄録])および(time under tension [タイトル/抄録])という条件で抽出した。本稿の対象としたのは、レジスタンスエクササイズ経験者のベンチプレス中のTUTを分析したコホート研究である。Critical Appraisal Skills Program(批判的吟味スキルプログラム)のツールを用いて、対象研究の方法論的な質を分析したところ、13件の研究が選択基準を満たした。これらの研究参加者の総数は215名(男性179名、女性36名)であった。TUTは各研究の変数操作により分析された。ベンチプレスエクササイズ中のTUTの挙動は、用いるトレーニングプロトコルや方法によって様々に異なっている。TUTとレップ数を変えることでトレーニング量を定量化できる。

## はじめに

「Time under tension (TUT)」すなわち筋の緊張下時間は、レジスタンストレーニング(RT)の変数であり、シングルセット中に、筋または筋群が力を発揮するために費やす時間を表す。TUTは、あるエクササイズに対する各レップの持続時間、完遂した総レップ数(2)、および使用されたトレーニング負荷(7)に関連がある。

TUTは、当該レップの短縮性局面、切り返しの局面、および伸張性局面の持続時間の合計として表すことができる(22)。個別か否かにかかわらず、各局面の持続時間を増加または減少させることによって、TUTを変化させることができる(13)。トレーニング量や負荷を決定する際、TUTはしばしば軽視されがちであるが、TUTの変化により、疲労や筋組織の損傷レベルが変化する可能性がある(30)。異なるケイデンスを用いることはTUTに影響を及ぼし、またトレーニング量や強度にも影響を及ぼす可能性がある(15)。外部負荷を挙上する能力は、TUTの増加に伴い低下する(1)。

同様に、TUTはRTエクササイズで使用される外部負荷から影響を受ける可能性があり、外部負荷という変数は、自然と実行可能なエクササイズのスピードとレップの持続時間に

影響を及ぼす。その結果、トレーニング終了時に異なる結果が得られる場合がある(26)。短縮性筋活動を失敗するまで行なう場合に、外部負荷に対してできるかぎり速い運動速度でエクササイズを行なうと、外部負荷はエクササイズの持続時間に影響を及ぼす。すなわち、負荷が軽いほどレップ数が増加し、TUTが長くなる(32)。したがって、設定された外部負荷に対するレップ数は、挙上者の力発揮と筋肥大に影響を及ぼす(21)。

RT強度の変数と考えられる負荷に加えて、レップ数もトレーニングセッションを操作する目的で通常用いられる(25)。エクササイズの順序(17)やセット間の休息时间(8)など、その他の変数も、連続レップ数やその結果のTUTに直接影響を及ぼす可能性がある。しかし、レップ数が多ければ多いほど、TUTが必ず長くなるとは限らない(38)。

このように様々な可能性がある中で、トレーニング量を定量化するためのいくつかの手段が研究により示唆されており、その中にはTUTも含まれる(16)。しかし、トレーニング量を正確に決定するためにTUTを適用するには、トレーニング量が異なるアスリートの変化する動作、エクササイズ種目や方法、アプローチを理解しなければならない。ベンチプレスは多関節運動を含み、上肢の筋力を評価するためのテストとしても用いられ、さらに、最大筋力やパワー、そして筋肥大の発達のためにも用いられる。この観点から、RTの量と強度の変数を、TUTも含め、理解し操作する必要がある(18)。

トレーニング変数としてのTUTの利用に基づいて、本稿の目的は、レクリエーションレベルのトレーニング経験者がベンチプレスを行なっている間のTUTの挙動を分析することであった。

## 方法

この系統的レビューは、「システマティックレビューおよびメタアナリシスのための優先的報告項目」(PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)が推奨する方法に従って実施した(19)。本稿は、「国際系統的レビュー前向き登録」(PROSPERO: International Prospective Register of systematic Reviews)にCRD42022301830として登録された。

## 適格基準

本稿に含まれているのは、トレーニング経験のある被験者を対象として、ベンチプレスエクササイズ中に、RT変数であるTUTを分析したコホートデザイン研究である。カンファレンスや会議、レビュー、事例研究からの研究は除外した。また、TUTを介入のコントロール変数としては用いたが、分析

対象の変数としては用いていない研究も除外した。

## 検索方法

2022年に、MEDLINE (PubMed)、Scopus、SPORTDiscus、Lilacs (BVS)の各データベースにおいて、フィルターを使用せずに、(resistance raining [タイトル/抄録]) OR (strength training [タイトル/抄録]) AND (time under tension [タイトル/抄録])という条件で検索を行なった。Health Sciences Descriptors (DeCS)やMedical Subject Headings (MeSH)では、「time under tension」という用語は、認識される検索語とはみなされていないが、本研究の主題であるため、この用語を含めた。

検索後、すべての文献は共有オンラインライブラリEndNoteにエクスポートされた。2名の研究者がそれぞれ独自に重複を削除し、論文のタイトルと抄録を分析した。意見の相違は3人目の研究者が解決した。その後、本研究の選択基準に合致する論文すべての全文を確認した。

## 研究方法の質の分析

研究方法の質を評価するために、「批判的吟味スキルプログラム」(CASP: Critical Appraisal Skills Programme)のツールを用いた(3)。このツールは、研究環境で起こりうる問題やバイアスを分析するために考案された。研究文献の知識に基づいて、2名の評価者が研究の質に影響を及ぼす可能性のある利益相反を検討し、評価者間の意見の不一致は、3人目の評価者が解決した。CASPツールには12の項目がある。各項目に「はい」か「いいえ」または「不明(どちらとも言えない)」のいずれかで回答しなければならない。Smithらの推奨に従い、評点10~12は「質が高い」、7~9は「中程度」、0~6は「質が低い」として評価した(29)。

## データ抽出プロセス

2名の著者が、対象に選ばれた研究から、それぞれ独自にデータを抽出した。相違がある場合は、3人目の著者を交えた合同会議で解決した。研究の特徴を明らかにするために抽出したデータは以下のとおりである。発表年、国、参加者数、性別、年齢、身長、体重、トレーニング経験、介入と結果に関するデータ、およびTUTやプロトコル、ケイデンスや負荷を分析するために使用した機器等である。

## 結果

先に設定した基準に基づき、272件の論文(PubMed=51、Scopus=86、SPORTDiscus=29、BVS=106)のスクリーニングを行なった。このうち、151件は重複していたため除外され、72件はタイトルと抄録を読む間に除外された。さらに

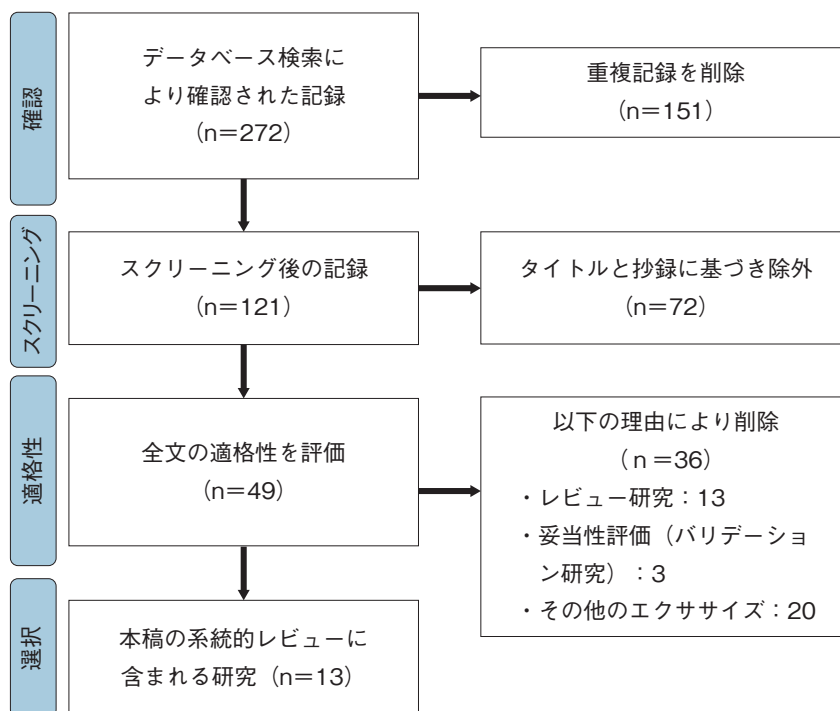


図1 対象研究を選択するためのフローチャート

36件の論文が全文確認の段階で除外された。その結果、本稿のレビューには、13件の研究が含まれることとなった(図1)。

対象研究の特徴を表1で示す。ほとんどの研究(n=9.69%)はポーランドで行なわれた研究である(5,6,10-12,33-35,37)。参加者数は10~42名であった。本稿の分析に含まれる研究の総参加者数は215名で、うち男性が179名、女性が36名であった。13件の研究のうち、女性を対象とした研究は2件(15%)だけであった(6,33)。RTの経験は6ヵ月~7年間で差があったが、1件の研究(23)にこのデータは示されていない。

表2には、TUTの収集と分析に使用した機器、試験プロトコル(セット数、レップ数、休息时间、方法)、負荷、ケイデンス、および選択した各試験の結果を示す。TUTを分析するために最も多く使用された機器は、リニアトランスデューサであった(5,10-12,31,37)。用いられたその他の機器は、Kinoveaソフトウェア(27,28)、デジタルカメラ(6,33)、およびデジタルストップウォッチ(23)であった。最も古い研究(28)は2016年に行なわれ、最新の研究(5,10,31)は2021年に行なわれており、両研究の間隔は5年であった。

CASPツール(3)によって行なわれた方法論的な質の評価では、すべての研究が11点以上であったため、質は高いという結果が得られた(表3)。信頼区間(CI)を本文中で示していない論文が複数あり(6,10,23,27,28,31,33-35)、それらの項目は評価できなかった。

## 考察

本稿の目的は、RTを実践している人のベンチプレスエクサ

サイズにおけるTUTの挙動を分析することであった。TUTは、選択された各研究の特徴(異なるケイデンス、トレーニング強度、グリップ幅、バーベルの種類、活動後のパフォーマンス増強の利用、血流制限など)をそれぞれ操作して分析された。

## トレーニング変数

### ケイデンス

異なるケイデンスを分析した研究のうち3件(33-35)では、遅いケイデンスのほうが、総TUTが長いことが示された。これらの研究では、70%1RMで行なった動作の伸張性局面における遅いケイデンスのパフォーマンスにおいて、総TUTに関するこの結果が明らかになった。各研究は、動作の短縮性局面では異なるケイデンスを用いた。Wilkら(34)によると、この結果は、短縮性局面で遅いケイデンスを用いて明らかとなった。別の研究(35)では、均等な短縮性ケイデンスを用い、他の1件の研究(33)では、最大パフォーマンス速度の短縮性ケイデンスを用いた。これらの結果は、速度と時間の間の逆相関と一致する。すなわち、ある動作を速く実行すればするほど、その動作にかかる時間は短くなる。様々に異なる伸張性局面が伸長-短縮サイクル(SSC)に影響を及ぼすが、それは、蓄積された弾性位置エネルギーにより、主に短縮性筋活動の初期段階が増強されるからである(20)。したがって、伸張性局面の持続時間が短くなるほど、このエネルギーが散逸する可能性が低くなり、SSCの有益な効果は減少するだろう(9)。分析された各研究は短縮性局面で異なるケイデンスパ

表1 選択された研究サンプルの特徴					
著者	年	国	参加者と性別	年齢、身長、体重	トレーニング経験
Silva ら (28)	2016	ブラジル	20 男	24.17±4.69y 1.72±0.06m 80.85±14.86kg	6 ヶ月以上
Silva ら (27)	2017	ブラジル	11 男	19.09±0.30y 1.71±0.05m 67.89±6.60kg	6 ヶ月以上
Gepfert ら (6)	2019	ポーランド	16 女	23.1±2.3y 54.5±3.3kg	1.7±0.73年
Gepfert ら (5)	2021	ポーランド	14 男	25.6±4.1y 81.7±10.8kg	3.9±2.4年
Krzysztofik ら (11)	2020	ポーランド	12 男	25.2±2.1y 92.1±8.7kg	6.3±2.1年
Krzysztofik ら (12)	2020	ポーランド	10 男	27.9±3.7y 90.1±12.5kg	6.5±2.7年
Krzysztofik ら (10)	2021	ポーランド	18 男	25±2y 92.1±9.9kg	7.3±2.1年
Salarolli ら (23)	2018	ブラジル	10 男	23.5±2.96y 1.79±0.06m 84.7±8.15kg	経験あり (NI)
Tsoukos ら (31)	2021	アメリカ	14 男	26.1±5.5y 1.81±0.07m 82.7±12.0kg	3年以上
Wilk ら (34)	2018	ポーランド	42 男	20~37y 75.9±7.7kg	1年以上
Wilk ら (35)	2019	ポーランド	16 男	21~29y 85.9±7.7kg	5.7±1.29年
Wilk ら (33)	2019	ポーランド	20 女	27.3±2.2y 53.3±7.7kg	3.9±0.63年
Wilk ら (37)	2020	ポーランド	12 男	23.2±2.66y 1.79±0.03m 75.3±6.33kg	5.7±2.93年

男=男性、女=女性、y=歳、kg=キログラム、m=メートル、NI=情報なし

ターンを比較したにもかかわらず、3件の研究すべてにおいて、TUTの同様の挙動が明らかとなった(33-35)。

Salarolli ら (23) は、80%1RMの負荷を使用して、異なるケイデンスでTUTを分析した。可能なかぎり高速で行なう場合と、動作の伸張性局面と短縮性局面を2秒間で行なうモデルである。著者らが明らかにした結果によると、2つのケイデンス間でTUTに差は認められなかった。これは先行研究(33-35)とは対照的であるが、レップ数には差がみられた。

#### トレーニング強度

2件の研究(27,28)において、8RM、10RM、12RMの異なる強度を用いた負荷テスト実施中のTUTを分析した。Silva ら (28) の研究では、TUTに違いがあることが示された。8RM

テストの総TUTは、10RMおよび12RMテストよりも短かった。一方、10RMテストと12RMテストでは、総TUTに差はみられなかった。

Silva ら (27) は、先行研究と同じテストプロトコルで調査を行なったが、異なる結果が得られた。8RMテスト実施中の総TUTは10RMテストよりも短く、12RMテストでは、10RMテストと8RMテストに比べ、総TUTは高かった。各テストは類似条件下で実施された。すなわち、コントロールされた可動域で行ない、最大限に高速で、個人が各テストの一定のレップ数を遂行できる筋力に等しい負荷を用いた。そのため、これら2件の研究結果の相違は、TUTとレップ数の関係が必ずしも単純ではないことを明示している。これらの変数をすべてコントロールした上で、レップ数によるTUTの違いの

表2 選択された研究からの抽出データ

研究	機器	セット数、レップ数、方法	負荷とケイデンス	結果
Silva ら (28)	ソフトウェア Kinovea version 8.15	3×各5分の休息を挟む 8RMテスト 10RMテスト 12RMテスト	RM 最大速度	TTUT 8RM<10RMと12RM 10RM=12RM
Silva ら (27)	ソフトウェア Kinovea version 8.15	3×各5分の休息を挟む 8RMテスト 10RMテスト 12RMテスト	RM 最大速度	TTUT 12RM>10RMと8RM 10RM>8RM
Gepfert ら (6)	デジタルカメラ	5×各3分の休息を挟んで 失敗するまで WGBP CGBP	70% 1RM 2/0/2/0	TTUT WGBP=CGBP
Gepfert ら (5)	リニアトランスデューサ	3×各3分の休息を挟んで 失敗するまで No BFR BFR	80% 1RM 最大速度	TTUT BFR>No BFR
Krzysztofik ら (11)	リニアトランスデューサ	各4分の休息 TRAD：3×事前筋活動 はなしで失敗するまで PAPE：3×事前筋活動 ありで失敗するまで	60% 1RM 最大速度	TTUT PAPE>TRAD TUTS PAPE3セット目>TRAD3 セット目
Krzysztofik ら (12)	リニアトランスデューサ	1×各3レップ SB EZ	50% 1RM 最大速度	TTUT EZ>SB
Krzysztofik ら (10)	リニアトランスデューサ	3×各5分の休息を挟んで 失敗するまで SB EZ	50% 1RM 2秒ecc+最大速度conc	TTUT：EZ=SB CTUT：EZ>SB ETUT：SB>EZ
Salarolli ら (23)	デジタルストップウォッチ	1×失敗するまで	80% 1RM A：最大速度 B：2/0/2/0	TTUT 最大速度=2/0/2/0
Tsoukos ら (31)	リニアトランスデューサ	1×失敗するまで	低：40% 1RM 中：60% 1RM 高：80% 1RM 最大速度	TTUT 低強度>中強度と高強度 高強度<低強度と中強度P TUT (開始時と中間) 低強度=中強度=高強度 PTUT (最終) 低強度>中強度と高強度
Wilk ら (34)	NI	5×各3分の休息を挟んで 失敗するまで	70% 1RM Reg：2/0/2/0 Med：5/0/3/0 Slow：6/0/4/0	TTUT Medとslow>reg Med=slow TUTS Medとslow>reg
Wilk ら (35)	NI	5×各3分の休息を挟んで 失敗するまで	70% 1RM Reg：2/0/2/0 Slow：6/0/2/0	TTUT slow>reg TUTS slow>reg

表2 選択された研究からの抽出データ(つづき)

研究	機器	セット数、レップ数、方法	負荷とケイデンス	結果
Wilk ら (33)	録画をスローモーション再生して分析	5×各3分の休息を挟んで失敗するまで WGBP CGBP	70% 1RM Fast : 2/0/X/0 Slow : 6/0/X/0	TUTS : slow>fast TTUT slow>fast WGBP=CGBP
Wilk ら (37)	リニアトランスデューサ	5×各3分の休息を挟んで失敗するまで No BFR BFR100 BFR150	60% 1RM 最大速度	TTUT BFR 150>No BFR と BFR100

BFR=血流制限、BFR100=動脈閉塞圧100%の血流制限、BFR150=動脈閉塞圧150%の血流制限、EZ=EZバー、CGBP=クロースグリップ・ベンチプレス、conc=短縮性、CTUT=短縮性緊張下時間、ETUT=伸張性緊張下時間、ecc=伸張性、fast=速いケイデンス、Max=最大、Med=中程度のケイデンス、NI=情報なし、No BFR=血流制限なし、PAPE=活動後パフォーマンス増強、PTUT=部分的緊張下時間、reg=通常ケイデンス、reps=レップ数、RM=最大挙上重量、SB=ストレートバー、slow=遅いケイデンス、TRAD=従来型、TTUT=総緊張下時間、TUTS=セットの緊張下時間、WGBP=ワイドグリップ・ベンチプレス

表3 選択された研究の方法論的質の評価(CASP)

研究	1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7	8	9	10	11	12	評点
Silvr ら (28)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Silva ら (27)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Gepfert ら (6)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Gepfert ら (5)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	12
Krzysztofik ら (11)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	12
Krzysztofik ら (12)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	12
Krzysztofik ら (10)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Salarolli ら (23)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Tsoukos ら (31)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Wilk ら (34)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Wilk ら (35)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Wilk ら (33)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	ICS	Y	Y	Y	Y	11
Wilk ら (37)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	12

CASP=批判的吟味スキルプログラム、Y=はい、ICS=不明

1: この研究の疑問は明確に焦点が絞られていたか? 2: 参加者集団の募集方法は適切であったか? 3: バイアスを最小化するために曝露量は正確に測定されたか? 4: バイアスを最小化するために、アウトカムは正確に測定されたか? 5a: 著者はすべての重要な交絡因子を特定したか? 5b: デザインや解析において交絡因子を考慮したか? 6a: 被験者の追跡調査は十分に行なわれたか? 6b: 被験者の追跡期間は十分だったか? 7: この研究の結果はどのようなものか? 8: 結果はどの程度正確か? 9: あなたは結果を信じるか? 10: この結果は、地域集団に適用できるか? 11: この研究結果は、他の入手可能なエビデンスと合致するか? 12: この研究が実践に与える示唆は何か?

説明として考えられるのは、アームスパン(両腕を水平に広げた際の長さ)の違いによる負荷の移動距離の差である。可動域がコントロールされていても、個人のアームスパンによって負荷の移動距離が変わることがありうる(33)。これにより、動作の遂行時間や総仕事量に変化することもありうるだろう(30)。

別の研究(31)では、使用した%1RMによる強度の違いからTUTを分析した。それぞれ40%1RM、60%1RM、80%1RMの負荷で、短縮性筋活動の失敗まで、できるかぎり速い速度

でエクササイズを行なった際のTUTを分析した。この分析から、総TUTの差が認められた。40%1RM条件では、他の2つの条件と比較して総TUTが長く、80%1RMの条件では、他の2つの条件と比較して総TUTが短くなった。これらの結果は、プロトコル間の外部負荷の差が、レップ数を変化させ、TUTがその変化に追従する可能性が十分に高いことを示唆している。これらの所見は、Silvaら(27)の結果とも一致している。Silvaらもまた、外部負荷の減少とレップ数の増加に伴いTUTが増加することを示している。力-速度曲線によれ

ば、用いる負荷が大きければ大きいほど、抵抗に対抗して速度を上げることはできなくなる(4)。したがって、より多くのレップを完遂することは難しくなる。これは、より大きな負荷に伴い疲労が生じ、力を発揮する神経筋の能力が損なわれることに起因する(24)。

## トレーニング方法

### 活動後パフォーマンス増強

Krzysztofikら(11)は、コンディショニング活動や筋活動を実施した後に力発揮能力が高まるメカニズムである活動後パフォーマンス増強(PAPE: postactivation performance enhancement)を用いる場合と用いない場合とで、TUTを分析した(39)。ベンチプレスで60%1RMの負荷を用い、短縮性局面と伸張性局面をできるかぎり速い速度の決められたケイデンスで行なった。総TUTは、従来のプロトコルと比較してPAPE条件のほうが長かったが、レップ数に差はみられなかった。セット当たりのTUTは、PAPEでは3セット目だけに差がみられ、TUTの値が高かった。このPAPEに伴うTUTの増加は、筋環境温度の上昇と血流の増加によって説明できる。したがって、TUTがなぜ筋温を上昇させるのかを説明するエビデンスはないにもかかわらず(11)、PAPEは温度上昇効果の改善に貢献する可能性がある(11)。

### 血流制限

Wilkら(37)およびGepfertら(5)は、エクササイズ中の血流制限の有無によってTUTを分析した。両研究とも可能なかぎり高速で動作を行なったが、Wilkら(37)は60%1RMを用いて、血流制限なし条件と、100%と150%の動脈閉塞圧による血流制限を用いた条件でTUTを分析した。被験者はこれら3条件の下で、短縮性筋活動を失敗するまで行なった。総TUTは、150%動脈閉塞圧を用いた場合が、他の条件よりも長くなった。Gepfertら(5)は、80%1RMで、できるかぎり速い速度で、血流制限を行なって分析した。アスリートは、短縮性筋活動を失敗するまで動作を行なうよう求められた。先行研究の結果(37)と一致して、血流制限を用いると、用いない場合に比べ、総TUTの値が大きくなった。これは、カフの素材が生み出す機械的圧迫が張力を生じさせているためと推測される。この処置によって蓄積されたエネルギーは動作スピードを変え、持続時間も変える可能性がある。Wilkら(36)は、カフがきつい(高圧)ほうが、カフの幅が広い(低圧)場合よりも、ピーク速度と平均速度が低下することを観察した。

## ベンチプレスの遂行方法

### グリップ幅

Wilkら(33)は、バーベル上のグリップ幅を変数として、

70%1RMを用いてベンチプレスを実施した際のTUT変数を分析した。しかし、グリップ幅を最も狭くした場合と最も広くした場合との結果は類似していた。別の研究(6)では、70%1RMを用いて、短縮性局面と伸張性局面を2秒間とする単一ケイデンスで、バーベル上の異なるグリップ幅を変数として分析した。結果はWilkら(33)と同様で、グリップ幅を変えてもTUTに差はなかった。Lockieら(14)は、ベンチプレスの1RMの実施において、グリップ幅を変えて実施した場合の違いを分析したが、先行研究とは異なり、従来のグリップ幅は、より狭いグリップ幅に比べ、エクササイズの実行時間が長くなった。従来の幅で動作を行なうことで、1RMテストにおいてより大きな負荷を使用することができたが、バーベルの移動距離には差がなかったためにこのような時間の変化が生じたと説明できるだろう。

### 可動域

2つの研究(10,12)が、ストレートバーとEZバーとを用いてベンチプレスにおけるTUTを分析した。後者は、アスリートの体幹部で曲線を描く形状のため、より大きな可動域が可能となるバーである。Krzysztofikら(12)は、強度を50%1RMに設定し、最大速度でこの分析を行ない、EZバーを使用したほうが、総TUTが長くなることを明らかにした。2本のバーベルの可動域の違いにより、使用される負荷が異なり、EZバーの負荷は小さくなる。低負荷ほど総TUTが長くなる傾向にあり、それがこの結果を説明すると思われる。

Krzysztofikら(10)は50%1RMを使用したが、伸張性局面は2秒、短縮性局面はできるかぎり速い速度(<1.5秒)で行なった。その結果、EZバーは短縮性TUTがより高値となり、ストレートバーのほうが伸張性TUTが高値であることが判明した。このように局面間のTUTには差がみられたものの、総TUTに差は認められなかった。これら2つの研究(10,12)は、前者ではレップ数が決まっており、後者では、伸張性局面では2秒間のコントロールを行ないながら、失敗するまで動作を行なうことになっていた。この研究デザインの違いが、明らかとなった結果の相違を説明すると思われる。2つの条件間で総TUTに差がなかったとしても、Krzysztofikら(10)は、ストレートバーを使用したほうがレップ数は多くなるとしている。したがって、レップ数のみをトレーニング量のコントロール変数として使用することはあまり正確ではないかもしれない。バーベルの違いによる可動域の違いは、レップ数には影響したが、総TUTや負荷の総変位には影響しなかった。したがって、TUTはトレーニング量のより正確な指標であることが示唆される(10)。

今回の系統的レビューの限界について述べておく。参加者は女性に比べ男性が多かった。このため、結果を女性集団に

一般化するには限界がある。さらに、レクリエーションレベルでRTを行なった経験者を対象とした研究だけを含めたため、トレーニング経験のない人やパフォーマンス能力の高いアスリートにこのデータを推定的に適用することには限界がある。さらに、TUTの分析は、上肢多関節エクササイズ1種目のコホート研究でのみ実施された。したがって、長期にわたる縦断的研究におけるTUTの挙動を分析することはできなかった。

## おわりに

本稿で調査された研究によると、ベンチプレスエクササイズにおけるTUTの変化は、使用するエクササイズプロトコルや方法によって異なることが示された。PAPEを使用したプロトコル、バーベルの形状の違い、ケイデンスの違い、負荷テスト中など、いくつかの条件において、レップ数とTUTに違いがみられた。これは、これら2つの変数が、トレーニング量を定量化する指標として異なっていることを示している。

さらに、血流制限を伴うTUTの変化を、上肢や下肢の他の多関節エクササイズや単関節エクササイズ、異なる集団、介入を含む研究などにおいて分析するために、さらに研究を行なうことが提案される。

## 現場への応用

本稿で示した諸条件から、ベンチプレスエクササイズの処方モデルに従って、TUTの起こりうる挙動を予測することが可能である。最大速度で短縮性筋活動を失敗するまで行なうエクササイズでは、負荷の違いがレップ数とTUTに影響を及ぼす。これらの条件下では、負荷が低いほどTUTが増加すると思われる。このTUTの増加は、血流制限圧がより高い場合やPAPEを伴う場合、また、より遅いケイデンス(短縮性局面の遂行時間に関係なく)でも起きた。対照的に、負荷をIRMの割合により等しく設定した場合には、グリッパ幅によりTUTが変化することはなかった。レップ数とTUTの挙動は、同じトレーニングプロトコルにおけるパフォーマンスの違いを示す可能性がある。◆

## REFERENCES

1. Brown N, Bichler S, Alt W. Detecting repetitions and time features in resistance training using triaxial accelerometry. *Sports Technol* 8: 35-43, 2015.
2. Cintineo HP, Freidenreich DJ, Blaine CM, et al. Acute physiological responses to an intensity-and time-under-tension-equated single- vs. multiple-set resistance training bout in trained men. *J Strength Cond Res* 32: 3310-3318, 2018.
3. Critical Appraisal Skills Programme [internet]. Available at: <http://www.casp-uk.net/casp-toolschecklists>. Accessed April 15, 2021.
4. García-Ramos A, Pestaña-Melero FL, Pérez-Castilla A, Rojas FJ, Haff

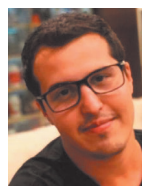
- GG. Differences in the load-velocity profile between 4 bench-press variants. *Int J Sports Physiol Perform* 13: 326-331, 2018.
5. Gepfert M, Jarosz J, Wojdala G, et al. Acute impact of blood flow restriction on strength-endurance performance during the bench press exercise. *Biol Sport* 38: 653-658, 2021.
6. Gepfert M, Krzysztofik M, Filip A, et al. Effect of grip width on exercise volume in bench press with a controlled movement tempo in women. *Baltic J Health Phys Activity* 11: 11-18, 2019.
7. Hatfield DL, Kraemer WJ, Spiering BA, et al. The impact of velocity of movement on performance factors in resistance exercise. *J Strength Cond Res* 20: 760-766, 2006.
8. Jambassi Filho JC, Gurjão ALD, Prado AK, Gallo LH, Gobbi S. Acute effects of different rest intervals between sets of resistance exercise on neuromuscular fatigue in trained older women. *J Strength Cond Res* 34: 2235-2240, 2020.
9. Janicijevic D, González-Hernández JM, Gu Y, Garcia-Ramos A. Differences in the magnitude and reliability of velocity variables collected during 3 variants of the bench press exercise. *J Sports Sci* 38: 759-766, 2020.
10. Krzysztofik M, Matykiewicz P, Filip-Stachnik A, et al. Range of motion of resistance exercise affects the number of performed repetitions but not a time under tension. *Sci Rep* 11: 14847, 2021.
11. Krzysztofik M, Wilk M, Filip A, et al. Can postactivation performance enhancement (PAPE) improve resistance training volume during the bench press exercise? *Int J Environ Res Public Health* 17: 2554, 2020.
12. Krzysztofik M, Zajac A, Żmijewski P, Wilk M. Can the cambered bar enhance acute performance in the bench press exercise? *Front Physiol* 11: 577400, 2020.
13. Lacerda LT, Martins-Costa HC, Diniz RCR, et al. Variations in repetition duration and repetition numbers influence muscular activation and blood lactate response in protocols equalized by time under tension. *J Strength Cond Res* 30: 251-258, 2016.
14. Lockie RG, Callaghan SJ, Moreno MR, et al. Relationships between mechanical variables in the traditional and close-grip bench press. *J Hum Kinetics* 60: 19-28, 2017.
15. Maszczyk A, Wilk M, Krzysztofik M, et al. The effects of resistance training experience on movement characteristics in the bench press exercise. *Biol Sport* 37: 79-83, 2020.
16. McBride JM, Mccauley GO, Cormie P, et al. Comparison of methods to quantify volume during resistance exercise. *J Strength Cond Res* 23: 106-110, 2009.
17. Miranda H, Figueiredo T, Rodrigues B, Paz GA, Simao R. Influence of exercise order on repetition performance among all possible combinations on resistance training. *Res Sports Med* 21: 355-366, 2013.
18. Padulo J, Laffaye G, Chaouachi A, Chamari K. Bench press exercise: The key points. *J Sports Med Phys Fitness* 55: 604-608, 2015.
19. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372: n71, 2021.
20. Pérez-Castilla A, Comfort P, McMahon JJ, Pestana-Melero FL, Garcia-Ramos A. Comparison of the force-velocity- and power-time curves between the concentric-only and eccentric-concentric bench press exercises. *J Strength Cond Res* 34: 1618-1624, 2020.
21. Pinto JLC, Ambrósio M, Lima VP, et al. Maximum repetitions and time under tension between multiarticular orders to monoarticular and monoarticular to multiarticular in resisted exercises. *Rev Cienc Act Fis* 19: 1-11, 2018.



22. Rathleff MS, Thorborg K, Bandholm T. Concentric and eccentric time-under-tension during strengthening exercises: Validity and reliability of stretch-sensor recordings from an elastic exerciseband. *PLoS One* 8: e68172, 2003.
23. Salarolli LCW, Barros RMB, Silva JB, et al. Comparison of time under tension, repetition maximum and electromyographic activity in bench press exercise in different speeds execution. *Gazz Med Ital* 177: 637-644, 2018.
24. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1725-1734, 2011.
25. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A reexamination of the repetition continuum. *Sports* 9: 32, 2021.
26. Silva JB, Lima VP, Castro JBP, et al. Analysis of myoelectric activity, blood lactate concentration and time under tension in repetitions maximum in the squat exercise. *J Phys Educ Sport* 18: 2478-2485, 2018.
27. Silva JB, Lima VP, Novaes JS, et al. Time under tension, muscular activation, and blood lactate responses to perform 8, 10, and 12RM in the bench press exercise. *J Exerc Physiol* 20: 41-54, 2020.
28. Silva JB, Lima VP, Paz GA, et al. Determination and comparison of time under tension required to perform 8, 10 and 12-RM loads in the bench press exercise. *Biomed Hum Kinetics* 8: 153-158, 2016.
29. Smith TO, Davies L, de Medici A, et al. Prevalence and profile of musculoskeletal injuries in ballet dancers: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport* 19: 50-56, 2016.
30. Tran QT, Docherty D, Behm D. The effects of varying time under tension and volume load on acute neuromuscular responses. *Eur J Appl Physiol* 98: 402-410, 2006.
31. Tsoukos A, Brown LE, Terzis G, et al. Changes in EMG and movement velocity during a set to failure against different loads in the bench press exercise. *Scand J Med Sci Sports* 31: 2071-2082, 2021.
32. Wernbom M, Järrebring R, Andreasson MA, Augustsson J. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res* 23: 2389-2395, 2009.
33. Wilk M, Gepfert M, Krzysztolik M, et al. The influence of grip width on training volume during the bench press with different movement tempos. *J Hum Kinetics* 68: 49-57, 2019.
34. Wilk M, Golas A, Stastny P, et al. Does tempo of resistance exercise impact training volume? *J Hum Kinetics* 62: 241-250, 2018.
35. Wilk M, Stastny P, Golas A, et al. Physiological responses to different neuromuscular movement task during eccentric bench press. *Neuro Endocrinol Lett* 39: 26-32, 2018.
36. Wilk M, Krzysztolik M, Filip A, et al. Short-term blood flow restriction increases power output and bar velocity during the bench press. *J Strength Cond Res* 36: 2082-2088, 2022.
37. Wilk M, Krzysztolik M, Filip A, Lockie RG, Zajac A. The acute effects of external compression with blood flow restriction on maximal strength and strength-endurance performance of the upper limbs. *Front Physiol* 11: 567, 2020.
38. Wilk M, Krzysztolik M, Petr M, et al. The slow exercise tempo during conventional squat elicits higher glycolytic and muscle damage but not the endocrine response. *Neuro Endocrinol* 41: 301-307, 2020.
39. Wong V, Yamada Y, Bell ZW, et al. Postactivation performance enhancement: Does conditioning one arm augment performance in the other? *Clin Physiol Funct Imaging* 40: 407-414, 2020.

From Strength and Conditioning Journal  
Volume 45, Number 5, pages 608-616.

#### 著者紹介



**Giulio César Pereira Salustiano Mallen da Silva**  
Rio de Janeiro State University の運動スポーツ科学学  
科大学院プログラムの修士課程の学生。



**Vicente Pinheiro Lima**  
Rio de Janeiro State University の運動・スポーツ科学  
学科大学院プログラムの教授。



**Andressa Oliveira Barros dos Santos**  
Rio de Janeiro State University の運動・スポーツ科学  
学科大学院の博士課程の学生。



**Juliana Brandão Pinto de Castro**  
Rio de Janeiro State University の運動・スポーツ科学  
学科大学院の博士号取得者。



**Yuri Rolim Lopes Silva**  
Rio de Janeiro State University の運動・スポーツ科学  
学科大学院プログラムの修士課程の学生。



**Guilherme Rosa**  
Federal Rural University of Rio de Janeiro の体育・ス  
ポーツ学科の教授。



**Rodolfo de Alkmim Moreira Nunes**  
Rio de Janeiro State University の運動・スポーツ科学  
学科大学院プログラムの教授。



**Rodrigo Gomes de Souza Vale**  
Rio de Janeiro State University の運動・スポーツ科学  
学科大学院プログラムの教授。