噛みしめがもたらす運動パフォーマンスの影響: 脊髄機能による検証

	新潟医療福祉大学	平	林		怜
(共同研究者)	同	江	玉	睦	明
	百	大	西	秀	明

Effects of Clenching on Exercise Performance: Verification Using Spinal Function Assessments

by

Ryo Hirabayashi, Mutsuaki Edama, Hideaki Onishi Institute for Human Movement and Medical Sciences, Niigata University of Health and Welfare

ABSTRACT

Teeth clenching has a significant impact on exercise performance, but the optimal clenching strength for peak exercise performance is unknown. Therefore, this study aimed to determine the relationship between exercise performance and spinal function as a function of clenching strength.

Two experiments were conducted in this study using two groups of 20 healthy adults. The four clenching conditions in Experiment 1 were 0, 12.5, 25, and 50% of the maximum voluntary contraction (MVC) of the masseter muscle, and Experiment 2 consisted of three conditions: no-bite condition, moderate effort, and maximum effort (max condition). In Experiment 1, measurements of spinal function and ankle dorsiflexion tasks were performed for each clenching condition, and the ankle dorsiflexion task was performed in Experiment 2. Regarding spinal function, we measured spinal reciprocal inhibition (RI) and the excitability of spinal anterior horn

-156-

cells. For the ankle dorsiflexion task, ankle dorsiflexion MVC was performed for 3 s under each clenching condition. The items analyzed were the reaction time, peak ankle dorsiflexion torque, and soleus (Sol) /tibialis anterior (TA) electromyography (EMG) ratio.

The results of Experiment 1 illustrated that RI was significantly attenuated or eliminated with increasing clenching strength (>25% MVC). The excitability of spinal anterior horn cells increased significantly with increasing clenching strength. The peak torque was significantly higher at 50% MVC than at 0% MVC condition. In Experiment 2, the peak torque was significantly higher under the moderate and max conditions than under the no-bite condition, and the Sol/TA EMG ratio was significantly higher under the max condition than under the moderate condition. The present results illustrated that during high-strength clenching (\geq 50% MVC), antagonist muscles are activated simultaneously to increase muscle strength. High-strength clenching (<50% MVC) enhanced exercise performance (joint movement).

要 旨

歯の噛みしめは運動パフォーマンスに大きな影響をもたらすが、運動パフォーマンスを発揮する ための最適な噛みしめ強度は不明である.そこ で、本研究の目的は、噛みしめ強度に伴った運動 パフォーマンスと脊髄機能との関係を明らかにす ることとした.

対象は健常成人20名とした.実験は2つ実施 した.噛みしめ条件として,実験1は,咬筋最大 随意収縮(MVC)の0%,12.5%,25%,50%の4条 件とし,実験2は,噛みしめなし(no-bite条件), 適度(moderate条件),最大努力(max条件)の3 条件とした.実験1では各噛みしめ条件中に脊髄 機能の計測と足関節背屈課題,実験2では足関節 背屈課題を実施した.脊髄機能では脊髄相反性抑 制(RI)と脊髄前角細胞の興奮性を計測した.RI の計測は,条件(総腓骨神経)-試験刺激(脛骨 神経)間隔(CTI)が2ms(Ia相反抑制),20ms(D1 抑制)の2条件に試験刺激のみ条件(single)を合 わせた3条件とした.脊髄前角細胞の興奮性の計 測は,一定の刺激強度でヒラメ筋H反射振幅で 計測した.足関節背屈課題は,各噛みしめ条件中 に足関節背屈MVCを3秒間実施した.解析項目 は,反応時間,足関節背屈ピークトルク,Sol/TA EMG ratioとした.

実験1の結果より、RIは、噛みしめ強度 (25%MVC条件以上)の増加伴い有意に減弱また は消失した.脊髄前角細胞の興奮性は、噛みしめ 強度の増加に伴い有意に増大した.ピークトルク は50%MVC条件で0%MVCと比較して有意に高 値を示した.実験2の結果より、ピークトルクは moderate条件, max条件で no-bite条件と比較し て有意に高値を示し、Sol/TA EMG ratio は max条 件で moderate条件と比較して有意に増加した.

本研究は、高強度の噛みしめでは(50%MVC 以上),拮抗筋同士を同時活性させ筋力発揮させ る運動パフォーマンス(関節固定)に適した噛み しめ強度であった.一方で、低強度の噛みしめで は(50%MVC未満),拮抗筋を抑制する機能を残

存させ、筋力発揮させる運動パフォーマンス(関 節運動) に適した噛みしめ強度であった.

緒言

歯の噛みしめは運動パフォーマンスに大きな影 響を即時的にもたらすが¹⁻³⁾,様々な運動パフォー マンスを発揮するための最適な噛みしめ強度は不 明である、噛みしめは、スポーツ活動時などの努 力性の強い運動に伴って観察され、運動パフォー マンスや筋発揮への影響が報告されている^{4,5)}. 噛みしめや上肢の収縮は、遠隔促通効果をもたら し、遠隔筋の腱反射の亢進やH反射の促通が起こ ると報告されている^{6,7)}.また、遠隔促通効果と して、下肢のH反射(脊髄前角細胞の興奮性)は 歯の噛みしめによって増大し、噛みしめ強度と正 の相関を示すことが報告されている^{8,9)}. 噛みし めによる遠隔促通効果のメカニズムについては. 歯根膜受容体および咬筋筋紡錘を含む三叉神経系 の機械受容器からの抑制性の下降性入力により. シナプス前抑制を抑制することが報告されている 7)

脊髄機能の運動制御として脊髄相反性抑制 (RI) は、円滑な関節運動、協調運動、歩行、走 行の際の重要な機能である。RIの機能には3つの 抑制経路が関与している. これらの抑制のメカニ ズムは、主動作筋の求心性Ia線維からIa抑制性 介在ニューロンを介して拮抗筋の脊髄前角細胞に 直接シナプス結合することで、拮抗筋を抑制す る2シナプス性Ia相反抑制(Ia相反抑制)がある ^{10,11)}.加えて、主動作筋の求心性Ia線維から一 次求心性脱分極 (PAD) 介在ニューロンを介して 拮抗筋の求心性 Ia 線維の終末に結合し、シナプス 前抑制として作用する短潜時抑制(D1抑制)と長 潜時抑制(D2抑制)がある¹⁰⁾. これらの抑制経 路を介して、RIは拮抗筋の過剰な筋収縮を抑制 し.協調運動を可能にする¹²⁻¹⁴⁾.RIは噛みしめ に伴って抑制量が減少することが報告されている デサントスポーツ科学 Vol.43

-157-

¹⁵⁾. RIの抑制量の減少は,拮抗筋同士の過剰な 同時活性を引き起こし、円滑な関節運動を阻害す るとされている^{16,17)} これに関連して、噛みし めによる遠隔促通効果に起因した拮抗筋同士の同 時活性化についての報告がされている⁶⁾

高強度の噛みしめは、拮抗筋同士の強い筋収 縮を必要とする運動時に(例としてウエイトリフ ティングなど)、歯を噛みしめることによって脊 髄前角細胞の興奮性の増大やRIを減弱させ、関 節固定に寄与する働きを担っている.一方で、関 節運動時における拮抗筋同士の過剰な同時活性は 関節運動を妨げ、俊敏性が求められる時の運動パ フォーマンスを低下させる¹²⁾.様々な運動や動 作のフェーズによって噛みしめ強度が異なること が報告されている4).しかし、先行研究では、高 強度の噛みしめによる RI や脊髄前角細胞の興奮 性の検討^{8,9,15)}に留まっている。我々は、様々な 噛みしめ強度に対する運動パフォーマンスと脊髄 機能を関連させ検討することで、様々な運動に対 する最適な噛みしめ強度を明らかにする必要があ ると考える.

そこで、本研究の目的は、噛みしめ強度に伴っ た運動パフォーマンスと脊髄機能との関係を明ら かにすることとした.

本研究の仮説として、高強度の噛みしめは、遠 隔促通効果が強く働きRIを減弱させ、拮抗筋同 士を活性させる.一方で、低強度の噛みしめは、 遠隔促通効果は働くが、RIの機能は残存しており、 拮抗筋を過剰に活性させないと仮定した.

1. 方法

実験は2つ実施し、噛みしめ強度に伴った運動 パフォーマンスと脊髄機能を検証した.実験1で は、対象者に対して各噛みしめ強度[0%,12.5%、 25%, 50% 最大随意収縮(MVC) 条件] を調節さ せた状態で、脊髄機能 (RI,脊髄前角細胞の興奮 性)と運動パフォーマンス(足関節背屈MVC)を

-158-

検討した.実験2は,対象者に対して噛みしめ強 度の調節を行わせずに,各噛みしめ強度 [咬筋の 筋収縮を引き起こさない条件 (no-bite 条件),適 度な強度での噛みしめ条件 (moredate 条件),最 大努力での噛みしめ条件 (max 条件)] での運動 パフォーマンス (足関節背屈 MVC) を検討した.

1.1 対象

対象は健常成人男性20名 (実験1:年齢21.1±0.7 歳,身長171.3±6.2cm,体重62.6±6.5kg.実験 2:年齢21.1±0.4歳,身長170.5±5.6cm,体重 63.1±9.1kg)を対象とした.本研究は、ヘルシン キ宣言に基づいたものであり、本学の倫理委員会 の承認を得て実施した.対象者には実験内容及び 対象者の権利についての説明を十分に行い、実験 参加への同意を得たうえで実験を実施した.

1. 2 測定肢位

測定肢位は右下肢で股関節100°,膝関節120°, 足関節110°とした.下肢は実験を通して肢位が 変化しないように大腿部は座面,足部はフットプ レートに固定した(竹井機器工業株式会社製).

1. 3 筋電図記録

表面筋電図 (EMG) は Ag / AgCl 電極を用い て (Blue Sensor, METS), 電極間距離 20mm で Sol 内側頭の筋腹, TA の筋腹に貼付した. アー ス電極は EMG 電極と電気刺激電極の間に貼付 した. EMG 信号 は増幅器 (FA-DL-720・140, 4 ASSIST) で 100 倍 に増幅 した のち A/D 変換 (PowerLab 8/30, AD Instruments) し, サンプリ ング周波数 10kHz でパーソナルコンピュータに記 録した. バンドパスフィルターは 10Hz から 1kHz とした. データは LabChart 7 (AD Instruments) を 使用して解析した.

1. 4 噛みしめ条件

実験1, 噛みしめ条件は, 咬筋MVCの0%, 12.5%、25%、50%MVCの4条件とした、 咬筋の スムージング波形は対象者の前方のモニターにリ アルタイムで表示し、モニターに各噛みしめ強 度 (12.5%MVC, 25%MVC, 50%MVC) をマー カーし, 視覚的フィードバックにより目標とする 噛みしめ強度の±5%MVCに合わせ, ±5%MVC を超えた試行は除外した¹⁵⁾.実験2.噛みしめ条 件は、咬筋の筋収縮を起こさない条件(no-bite条 件), 適度な強度での噛みしめ条件 (moderate 条 件),最大努力での噛みしめ条件(max条件)の3 条件とした. Moderate 条件は, 対象者が最も噛 みしめがしやすく,足関節背屈動作が行いやすい と感じる強度とした.また、全ての実験を通して 噛みしめ中は、表情筋の筋収縮が入らないように できる限り表情を変えないよう指示し、注意して 観察して実施した. 咬筋のMVCの計測は3秒間 を3回行い、安定した1秒間を解析し、3回の平 均値をMVCの値とした.また、実験後にも同様 の方法でMVCの計測を行った.

1.5 電気刺激

電気刺激は、電気刺激装置(SEN-8203, Nihon Kohden, Tokyo, Japan)を用いて、アイソレーター (SS-104J, Nihon Kohden, Tokyo, Japan)を介し て、電気刺激(持続時間1ms, 矩形波)を実施した. Sol H反射, M波の誘発には、選択的に脛骨神経 を刺激するために、単極刺激法を用い、陽極を膝 蓋骨上面, 陰極を膝窩部にて試験刺激を実施した. 前脛骨筋のM波の誘発には、総腓骨神経を刺激 するために、双極刺激法を用いた.刺激部位は腓 骨頭下で腓骨筋の筋収縮が起きていないことを確 認して慎重に条件刺激を実施した^{10,18-21)}.

1.6 RIの計測

RIの計測には、先行研究^{10, 18-20)}で用いられて

いる手法を参考にした.条件刺激 (TAの支配神 経である総腓骨神経)をした後、試験刺激 (Solの 支配神経である脛骨神経)としてSol H反射振幅 値の変化を記録した.総腓骨神経刺激による条件 刺激は、抑制性介在ニューロンを介してSolの脊 髄前角細胞の興奮性を抑制する。そのため、条件 刺激後に脛骨神経に試験刺激を与えると, Sol H 反射の振幅が低下することが予想される. 条件刺 激の刺激強度は、前脛骨筋のM波閾値(100 uV) 以下)とした^{10, 20, 22, 23)}.加えて,条件刺激の際 は、腓骨筋の筋収縮が起きていないことを確認し て慎重に配置した¹⁸⁻²⁰⁾. 試験刺激の刺激強度は, 試験刺激H反射振幅値に依存してIa相反抑制量が 変化するため²⁴⁾, Sol H反射振幅値がSol M波最 大振幅値(Mmax)の15-25%になるように設定し た. SolmmaxはSol H反射の刺激強度を設定する ために、RI計測の前に測定した、3つの刺激条件は、 条件刺激と試験刺激の刺激間隔(CTI)を2ms条 件 (CTI 2ms), 20ms条件 (CTI 20ms) の2条件と, 条件刺激をしない試験刺激のみの条件 (single) と した. CTI 2ms は最も Ia 相反抑制量が多く^{10,21)}, CTI 20ms は最も D1 抑制量が多い¹⁰⁾. RI の計測 は15秒間の咬筋収縮中に3つの刺激条件をランダ ムに刺激し、1セットとした、刺激回数は10セッ ト×噛みしめ条件(4条件)で実施した.各セッ ト間は1分以上の休息を入れた. 刺激頻度は0.3Hz とした. 刺激頻度が0.3 Hzでは、刺激が3回目以 降でH反射が安定するため²⁵⁾,計測開始前に少 なくとも3回以上の試験刺激をして計測を開始し た.

1.7 脊髄前角細胞の興奮性の計測

脊髄前角細胞の興奮性の指標として, Sol H-reflex を用いた. Sol H-reflex の計測は, 11秒± 1秒ごとに²⁶⁾,対象者の前方に設置した光刺激装 置(竹井機器工業株式会社製)による光刺激を合 図に各噛みしめ課題を4秒間行わせ,光刺激から デサントスポーツ科学 Vol.43 3秒後に脛骨神経に電気刺激をした.刺激強度は 安静時のSol-Mmaxの20%とし,実験を通して一 定の強度とした²⁷⁾.計測回数は各噛みしめ課題 をランダムに20回1セットとし,3セット実施した. 各セット間は1分以上の休息を入れて実施した.

1.8 足関節背屈課題

課題動作は、足関節底屈20°での等尺性収縮を 足関節背屈MVCで3秒間実施した.また、対象 者には, 光刺激の提示とともに素早く最大努力で 実施することを説明した.課題動作時には、手を 握りしめたり, 呼吸を止めたりしないよう注意し て実施した、足関節背屈課題は、運動学習による 影響を極力防ぐため、実験前に十練習を行った後 に課題動作を行った、実験1のプロトコルは、2 回の光刺激を提示し、1回目の光刺激で各噛みし め条件を開始し、4±0.5秒後に2回目の光刺激を 提示して課題動作を実施した.実験2のプロトコ ルは、実験1と同様で、光刺激の提示間隔のみが 違い、2.75±0.5秒とした.実験1とは違い、噛 みしめ強度を前方のモニター上で調節する時間を 要さないことと、max条件があるため、咬筋の筋 疲労を考慮して光刺激の間隔を短縮させた. 課題 動作は各噛みしめ条件で2回ずつ実施した.課題 動作時の計測項目は、反応時間、足関節背屈ピー クトルク, Sol/TA EMG ratio とした.

1. 9 実験手順

実験手順は図1に示す.実験1の実験手順は, 最初に咬筋 MVC を計測して各噛みしめ条件(0%, 12.5%, 25%, 50% MVC)を決定した.次に, RI, 脊髄前角細胞の興奮性,足関節背屈課題を実施し, 最後に咬筋 MVC を計測して,咬筋の筋疲労の有 無を評価した.脊髄前角細胞の興奮性, RI,足関 節背屈課題時の噛みしめ条件はすべてランダムに 実施した.

実験2の実験手順は、実験1と同様に、咬筋

-159-



図1 実験デザイン

MVCを実験前後で計測して,足関節背屈課題の み実施した.各計測では1分以上の休息を入れた.

1. 10 データ解析

RIの解析は、各刺激条件の波形振幅(10波形) のpeak-to-peak値を平均し、Sol H反射振幅値お よびM波振幅値を算出した。RIの値は、Sol H反 射振幅値を最大M波振幅値で除して%表記にて 算出した(Sol H-reflex amplitude in %mmax).各 噛みしめ条件間の比較の際は、条件刺激をした試 験刺激のH反射振幅値に試験刺激のみのH反射 振幅値を除して%表記にて算出した([Amplitude of conditioned H-reflex amplitude / test H-reflex amplitude] × 100).

脊髄前角細胞の興奮性の指標として用いたH反 射の解析は、Sol H反射振幅のpeak-to-peak値を 振幅値として算出し、各噛みしめ条件で得られた H反射振幅値の15波形を加算平均して算出した. 各噛みしめ条件の比較の際はSol H反射振幅値を 最大M波振幅値で除して%表記にて算出した(Sol H-reflex amplitude in %mmax).

反応時間として、TAの反応時間は、2回目の 光刺激から安静時のEMG平均値±3×標準偏差 (SD)の値をEMGが超えた時点とした.また、 関節トルクの反応時間は、2回目の光刺激から安 静時のトルク平均値 ± 3SDの値を関節トルク値 が超えた時点とした²⁸⁾.

ピークトルクは,足関節背屈課題を3秒間行っ た背屈トルクの最大値を解析し,2回の平均値を 算出した.

Sol/TA EMG ratio は,関節トルクの開始から 50msまでのTAおよびSolのEMGの合計積分値 を算出し,Sol EMGからTA EMGを除して%表 記にて算出した.

1. 11 統計処理

RIは、噛みしめ条件×刺激条件を比較するた めに反復測定二元配置分散分析を行った.事後検 定として、各噛みしめ条件の刺激条件(singleと 2条件)の比較は、対応のあるt検定にBonferroni 補正を行った.各刺激条件の噛みしめ条件間 (0%,12.5%,25%,50%MVC条件)の比較は、 Bonferroni法を用いた多重比較検定を行った.脊 髄前角細胞の興奮性と運動パフォーマンスの噛み しめ条件の比較には、噛みしめ条件の一要因に対 する反復測定一元配置分散分析を行い、事後検定 としてBonferroni法を用いた多重比較検定を行っ た.実験前後の咬筋MVC比較は対応のあるt検 定を用いた、いずれも有意水準は5%とした.



図2 脊髄相反性抑制

2. 結 果

2.1 実験1

RI

噛みしめ条件と刺激条件の2要因の反復測定 二元配置分散分析の結果は、噛みしめ条件間の 主効果を認め[F (3,57) = 4.502, p = 0.007, η ² = 0.192],刺激条件間の主効果を認めた[F (2, 38) = 91.477, p < 0.001, η^2 = 0.828]. また, 2 要因の交互作用を認めた[F (6,114) = 10.563, p < 0.001, η^2 = 0.357]. single条件のH反射振幅値は, 各噛みしめ条件で有意差を認めなかった. した がって,条件刺激に対するSol-H反射振幅値の変 化は,試験刺激強度に依存したものではないこと を示す.

各噛みしめ条件で得られた single 条件とCTI 2, 20ms 条件を比較した(図2). single 条件と比較し てCTI 2ms 条件では、0%、12.5%、25% MVC 条 件でH反射振幅値が有意に減少し (p < 0.001), Ia 相反抑制を認めた. 50% MVC 条件では Ia 相 反抑制を認めなかった (p = 0.107). 噛みしめ 条件間での比較は、0% MVC 条件と比較して 25%、50% MVC 条件でH反射振幅値が有意に増 加した (p < 0.001). 12.5% MVC 条件と比較して 50% MVC 条件は、H反射振幅値が有意に増加した (p < 0.001).

single 条件と比較して CTI 20ms 条件では, す べての噛みしめ条件で H反射振幅値が有意に減少 したため (p < 0.001), D1 抑制を認めた. 噛みし め条件間での比較は, 0%MVC 条件と比較して, 25% (p = 0.003), 50%MVC 条件 (p = 0.012) で H反射振幅値が有意に増加した. 12.5%MVC 条件 と比較して 50%MVC 条件は, H反射振幅値が有 意に増加した (p = 0.019).

2.2 脊髄前角細胞の興奮性

噛みしめ条件間の反復測定一元配置分散分析 の結果は、噛みしめ条件の主効果を認めた[F(3, 57) = 61.680, p < 0.001, $\eta^2 = 0.765$]. 事後検 定として、各噛みしめ条件のH反射振幅値の比 較では、0%MVC条件と比較して12.5%、25%、 50%MVC条件でH反射振幅値が有意に増加した (p < 0.001). 12.5%条件と比較して50%MVC条 件でH反射振幅値が有意に増加した (p < 0.001). 25%MVC条件と比較して50%MVC条件でH反射 振幅値が有意に増加した (p < 0.001) (**図3**).

2. 3 足関節背屈課題

反応時間

TA EMGの反応時間において (図4A), 噛み

-161 -



図3 脊髄前角細胞の興奮性

しめ条件間の反復測定一元配置分散分析の結果, 噛みしめ条件の主効果を認めなかった. [F(3, 57) = 2.489, p = 0.069, η^2 = 0.116].

関節トルクの反応時間において(図4B), 噛み しめ条件間の反復測定一元配置分散分析の結果, 噛みしめ条件の主効果を認めた[F(3,57) = 2.905, p = 0.042, $\eta^2 = 0.133$]. しかし, 事後検定によ る各噛みしめ条件間での有意差は認めなかった.

ピークトルク(図4C)

噛みしめ条件間の反復測定一元配置分散分析の結果は、噛みしめ条件の主効果を認めた[F(3,

57) = 3.236, p = 0.029, η^2 = 0.146]. 各噛みし め条件のピークトルクを比較した結果, 0%MVC 条件と比較して50%MVC条件でピークトルクが 有意に高値を示した (p = 0.011).

Sol/TA EMG ratio

噛みしめ条件間の反復測定一元配置分散分析の 結果は、TA EMG [F (3, 57) = 1.443, p = 0.240, $\eta^2 = 0.071$] (図4D), Sol EMG [F (3, 57) = 1.149, p = 0.337, $\eta^2 = 0.057$] (図4E), Sol/TA EMG ratio [F (3, 57) = 0.884, p = 0.455, $\eta^2 = 0.044$] で噛みしめ条件の主効果を認めなかった (図4F).

2. 4 咬筋MVC

実験前後の咬筋 MVC (実験前 0.352 ± 0.041 mV,実験後 0.359 ± 0.038 mV)を比較した結果, 有意差を認めなかった (p = 0.51).したがって, 実験後の咬筋の筋疲労は認めなかった.

2.5 実験2

足関節背屈課題

moderate 条件の咬筋 background EMG は 25.6 ± 3.0% MVC だった.



デサントスポーツ科学 Vol.43

-163-



図5 足関節背屈課題(実験2)

反応時間

TA EMGの反応時間において(図5A), 噛みし め条件間の反復測定一元配置分散分析の結果, 噛 みしめ条件の主効果を認めなかった[F(3,57) = $0.300, p = 0.742, \eta^2 = 0.016$].

関節トルクの反応時間において(図5B), 噛みしめ条件間の反復測定一元配置分散分析の結果, 噛みしめ条件の主効果を認めなかった[F(3, 57) = 0.461, p = 0.634, η² = 0.024].

ピークトルク(図5C)

噛みしめ条件間の反復測定一元配置分散分析 の結果は、噛みしめ条件の主効果を認めた [F(3, 57) = 13.906, p < 0.001, η^2 = 0.423]. 各噛みし め条件のピークトルクを比較した結果, no-bite条 件と比較して moderate 条件でピークトルクが有 意に高値を示した (p = 0.002). No-bite 条件と比 較して max 条件でピークトルクが有意に高値を示 した (p = 0.001).

Sol/TA EMG ratio

噛みしめ条件間の反復測定一元配置分散分析の 結果は、TA EMG [F (2, 38) = 0.185, p = 0.832, $\eta^2 = 0.010$] (図5D), Sol EMG [F (2, 38) = 2.702, デサントスポーツ科学 Vol. 43 p = 0.080, $\eta^2 = 0.125$] で噛みしめ条件の主効果 を認めず (図5E), Sol/TA EMG ratioでは噛みし め条件の主効果を認めた [F (2, 38) = 3.715, p = 0.034, $\eta^2 = 0.164$]. 噛みしめ条件の Sol/TA EMG ratioを比較した結果, moderate 条件と比較して max 条件で Sol/TA EMG ratio が有意に高値を示し た (p = 0.009) (図5F).

2. 6 咬筋MVC

実験前後の咬筋 MVC (実験前0.424 ± 0.047 mV,実験後0.414 ± 0.047 mV)を比較した結果, 有意差を認めなかった (p = 0.27).したがって, 実験後の咬筋の筋疲労は認められなかった.

3. 考察

本研究のmain findingsは, 噛みしめ強度が増加 するにつれて, RIは減弱または消失, 脊髄前角 細胞の興奮性は増大した. 足関節背屈による運動 パフォーマンスは, 噛みしめによってピークトル クの増加を認め, 高強度の噛みしめではSol/TA EMG ratioが増加した.

本研究の結果より、脊髄前角細胞の興奮性は噛

みしめ強度の増加に伴い増大した. 先行研究では, 遠隔促通効果として, 噛みしめに伴って歯根膜受 容体および咬筋の筋紡錘を含む三叉神経系の機械 受容器からの抑制性の下降性入力により、シナプ ス前抑制を抑制することが報告されている⁷⁾.本 研究においても、噛みしめに伴うSol H反射の増 大は、抑制性の下降性入力による遠隔促通効果で あると示唆される.先行研究^{8,9)}では、噛みしめ 強度を20%MVC以上の強度でH反射を計測して いたが、本研究はさらに低強度の12.5%MVC条 件でSol H反射振幅値が有意に増加した.この結 果は,先行研究を支持し^{8,9)},さらに低強度での 収縮強度でも遠隔促通効果を認めることを明らか にした. Jendrassik maneuveによる遠隔促通効果 の報告では、10%MVCによる手関節掌屈でも脊 髄前角細胞の興奮性が増大したと報告している ²⁹⁾. そのため、本研究は12.5%MVCの噛みしめ においても、遠隔促通効果をもたらす十分な収縮 強度であったことが示唆された.

本研究のRIの結果より、Ia相反抑制は25% MVC条件まで抑制が残存し、50%MVC条件では 抑制が消失し、D1抑制はすべての噛みしめ強度 で抑制が残存した。RIは25%MVC条件以上で噛 みしめ強度増加に伴い減弱した.先行研究では、 高強度の噛みしめや jendrassik maneuver によって RIが減弱することを報告している^{15,30)}.しかし, 先行研究では¹⁵⁾, RI 計測の際に, 噛みしめ強度 増加に伴いSol H-reflex が増加するが⁸⁾. 試験刺 激強度の調節を行わずに計測を行っていた. RI は、試験刺激の強度に依存して抑制量が変化する ²⁴⁾ ことから,正確にRIを計測できていなかった 可能性がある、そのため、本研究では常に試験刺 激強度を Solmmax の 20% に合わせ、正確な RI 抑 制量の計測を可能とした. 噛みしめに伴うRIの 減弱および消失のメカニズムとして, Renshaw細 胞を介した反回抑制は、脊髄前角細胞の興奮性増 大に伴い働き、拮抗筋からのIa抑制性介在ニュー

ロンを抑制し³¹⁻³³⁾, RIを減弱, 消失させること が報告されている³⁴⁾. このことから, 噛みしめ 強度増加に伴って Sol の脊髄前角細胞の興奮性が 増大することで、Renshaw細胞を介した反回抑 制が増強し、TAからの抑制性介在ニューロンか らの入力を抑制したことで、RIが減弱、消失し たことが考えられる.低強度の噛みしめ(12.5%, 25%MVC条件)時には、噛みしめに伴う脊髄前 角細胞の興奮性が増大し、RIの機能は残存した ため, 関節運動時の主動作筋は活性され, 拮抗 筋を抑制することができる噛みしめ強度である可 能性が示唆された.一方で、高強度の噛みしめ (50%MVC以上)では、脊髄前角細胞の興奮性が 増大し, RIが減弱, 消失した. また, 先行研究 では、噛みしめによってSolだけでなく拮抗筋の TAの脊髄前角細胞の興奮性が増大することを報 告している¹⁵⁾. 高強度の噛みしめは, 拮抗筋同 士の同時活性化を増加させ、関節を固定させた運 動パフォーマンスを発揮することに適した噛みし め強度である可能性が示唆された.

噛みしめが運動パフォーマンスに及ぼす効果 は、ピークトルクが50%MVC条件, moderate条件, max条件で増加した.先行研究で噛みしめと運動 パフォーマンスの関連を検討した研究では、最大 努力の噛みしめによる検討のみで³⁵⁻³⁸⁾,他の噛 みしめ強度がピークトルクに及ぼす影響は不明で あった. 本研究の結果より, 噛みしめが脊髄前角 細胞の興奮性増大に伴って、ピークトルクを増 加させた可能性が示唆された.しかし、12.5%、 25%MVCで脊髄前角細胞の興奮性が増大。RIの 機能が残存しているにも関わらず、ピークトルク の増加は認めなかった。一つの要因として、対象 者は前方にあるモニターで噛みしめ強度を調節す る課題に加えて、足関節背屈課題を実施したた め、二重課題となってしまったことが要因として 考えられる.この要因を除外するため、実験2で のmoderate条件では、噛みしめ強度の調節がなく、

足関節背屈課題のみを遂行でき,ピークトルクの 増加を認めたことから,実験1での運動パフォー マンスの結果は,二重課題の影響も考慮する必要 がある.

Sol/TA EMG ratioでは, moderate 条件と比較し てmax条件で有意に増加した. これらの運動パ フォーマンスの結果と実験1の脊髄機能の結果を 関連させると, moderate 条件は, max 条件と同様 にピークトルクの増加を認め, moderate 条件の噛 みしめ強度では RI 機能の残存, Sol/TA EMG ratio が低値を示すことが明らかとなった. moderate条 件(25%MVC前後)の噛みしめ強度では、遠隔促 通効果による主動作筋の活性に伴い、拮抗筋を抑 制する機能も残存していることから、主動作筋 が主に働く (例として関節運動) 運動パフォーマ ンスを向上させる可能性が示唆された. max条件 は、遠隔促通効果による主動作筋の活性に加え て、拮抗筋の脊髄前角細胞の興奮性増大とRIの 機能低下による拮抗筋の活性を引き起こす、その ため, 拮抗筋同士が働く(例として関節固定)運 動パフォーマンスを向上させる可能性が示唆され た.

本研究は、低強度から高強度までの噛みしめ強 度で、脊髄機能を含めて運動パフォーマンスの計 測を一連に行った最初の知見である.また、本研 究結果より、アスリートに対して、最適な噛みし め強度を提示することで、運動パフォーマンスが 向上する可能性がある基礎的知見となった. 今 後、スポーツ競技特性に対する噛みしめ強度を検 討し、最適な噛みしめ強度と運動パフォーマンス との関係を明らかにする必要があると考える.

4. 限 界

本研究の限界として2つ挙げられる.1つ目は, 脊髄前角細胞の興奮性の計測において,H/Mmax リクルートメントカーブを用いていないため正確 な脊髄前角細胞の興奮性を示せていなかった可能 デサントスポーツ科学 Vol.43 性がある.しかし,先行研究^{8,9)}では実験を通し て刺激強度を一定として脊髄前角細胞の興奮性を 簡便に計測する手法を用いている.研究デザイン 上,H/Mmaxリクルートメントカーブは安静時の みでの計測しかできないため,噛みしめ中の計測 は不可能である.そのため,本研究は先行研究^{8,9)} と同様に一定の刺激強度で計測を行った.2つ目 は,足関節背屈課題が等尺性収縮のみの計測に留 まっている.そのため,関節運動中の適した噛み しめ強度は不明であった.今後は,関節運動中の 拮抗筋の活性度合いや,関節角度の円滑さを含め て検討する必要がある.

5. 結 論

本研究は、高強度の噛みしめでは(50%MVC 以上)、RIの機能低下に加えて、ピークトルクと Sol/TA EMG ratioが増加し、拮抗筋同士を同時活 性させ筋力発揮させる運動パフォーマンス(関節 固定)に適した噛みしめ強度であった.一方で、 低強度の噛みしめでは(50%MVC未満)、RIの機 能残存に加えて、ピークトルクの増加、Sol/TA EMG ratioの低下を認め、拮抗筋を抑制する機能 を残存させ、筋力発揮させる運動パフォーマンス (関節運動)に適した噛みしめ強度であった.

謝 辞

本研究を遂行するにあたり,研究助成を賜りま した公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学 振興財団に厚く御礼申し上げます.

文 献

- Ebben W.P., E.P. Flanagan, R.L. Jensen, Jaw clenching results in concurrent activation potentiation during the countermovement jump., *Journal of strength and conditioning research*, 22(6) :1850-4(2008)
- Nakamura T., Y. Yoshida, H. Churei, J. Aizawa, K. Hirohata, T. Ohmi. et al., The Effect of Teeth

-165-

-166-

Clenching on Dynamic Balance at Jump-Landing: A Pilot Study., *Journal of applied biomechanics*, **33**(3) :211-5(2017)

- 3) Buscà B., D. Moreno-Doutres, J. Peña, J. Morales, M. Solana-Tramunt, J. Aguilera-Castells, Effects of jaw clenching wearing customized mouthguards on agility, power and vertical jump in male highstandard basketball players., *Journal of exercise science and fitness*, 16(1) :5-11(2018)
- Nukaga H., T. Takeda, K. Nakajima, K. Narimatsu, T. Ozawa, K. Ishigami et al., Masseter Muscle Activity in Track and Field Athletes: A Pilot Study., *Open Dent. J*, 10:474-85 (2016)
- Sasaki Y., T. Ueno, H. Taniguchi, T. Ohyama, Effect of teeth clenching on isometric and isokinetic strength of ankle plantar flexion., *J. Med. Dent. Sci.*, 45(1):29-37(1998)
- Ebben W.P., A brief review of concurrent activation potentiation: theoretical and practical constructs., J. Strength Cond. Res., 20(4):985-91(2006)
- Ertuglu L.A., I. Karacan, G. Yilmaz, K.S. Turker, Standardization of the Jendrassik maneuver in Achilles tendon tap reflex., *Clin. Neurophysiol. Pract.*, 3:1-5(2018)
- Miyahara T., N. Hagiya, T. Ohyama, Y. Nakamura, Modulation of human soleus H reflex in association with voluntary clenching of the teeth., J. *Neurophysiol.*, 76(3):2033-41(1996)
- Mitsuyama A., T. Takahashi, T. Ueno, Effects of teeth clenching on the soleus H reflex during lower limb muscle fatigue., *J. Prosthodont. Res.*, 61 (2) :202-9(2017)
- Mizuno Y., R. Tanaka, N. Yanagisawa, Reciprocal group I inhibition on triceps surae motoneurons in man., *Journal of neurophysiology*, 34(6) :1010-7 (1971)
- Okuma Y., R.G. Lee, Reciprocal inhibition in hemiplegia: correlation with clinical features and recovery., *The Canadian journal of neurological* sciences Le journal canadien des sciences neurologiques, 23(1):15-23(1996)
- 12) Blackwell J.R., K.J. Cole, Wrist kinematics differ in expert and novice tennis players performing the backhand stroke: implications for tennis elbow., *Journal of biomechanics*, 27 (5) :509-16(1994)
- Morita H., M. Shindo, S. Ikeda, N. Yanagisawa, Decrease in presynaptic inhibition on heteronymous

monosynaptic Ia terminals in patients with Parkinson's disease., *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, **15**(5) :830-4(2000)

- 14) Nagai K., M. Yamada, K. Uemura, Y. Yamada, N. Ichihashi, T. Tsuboyama, Differences in muscle coactivation during postural control between healthy older and young adults., *Archives of gerontology and geriatrics*, 53(3) :338-43(2011)
- 15) Takada Y., T. Miyahara, T. Tanaka, T. Ohyama, Y. Nakamura, Modulation of H reflex of pretibial muscles and reciprocal Ia inhibition of soleus muscle during voluntary teeth clenching in humans., *J. Neurophysiol.*, 83(4) :2063-70(2000)
- 16) Fung J., H. Barbeau, A dynamic EMG profile index to quantify muscular activation disorder in spastic paretic gait., *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 73(3) :233-44(1989)
- 17) Bhagchandani N., S. Schindler-Ivens, Reciprocal inhibition post-stroke is related to reflex excitability and movement ability., *Clinical neurophysiology* : official journal of the International Federation of *Clinical Neurophysiology*, **123**(11) :2239-46(2012)
- 18) Hirabayashi R., M. Edama, S. Kojima, W. Ito, E. Nakamura, T. Kikumoto et al., Spinal reciprocal inhibition in the co-contraction of the lower leg depends on muscle activity ratio., *Experimental brain research*, (2019)
- 19) Hirabayashi R., M. Edama, S. Kojima, M. Nakamura, W. Ito, E. Nakamura et al., Effects of Reciprocal Ia Inhibition on Contraction Intensity of Co-contraction., *Frontiers in human neuroscience*, 12:527(2018)
- 20) Yamaguchi T., T. Fujiwara, S.C. Lin, Y. Takahashi, K. Hatori, M. Liu et al., Priming With Intermittent Theta Burst Transcranial Magnetic Stimulation Promotes Spinal Plasticity Induced by Peripheral Patterned Electrical Stimulation., *Frontiers in neuroscience*, 12:508 (2018)
- 21) Nielsen J., Y. Kagamihara, The regulation of disynaptic reciprocal Ia inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man., *The Journal of physiology*, **456**:373-91 (1992)
- 22) Hirabayashi R., M. Edama, S. Kojima, S. Miyaguchi, H. Onishi, Effects of repetitive passive movement on ankle joint on spinal reciprocal inhibition., *Experimental brain research*, 237(12)

:3409-17(2019)

- 23) Hirabayashi R., M. Edama, S. Kojima, S. Miyaguchi, H. Onishi, Enhancement of spinal reciprocal inhibition depends on the movement speed and range of repetitive passive movement., *The European journal of neuroscience*, (2020)
- 24) Crone C., H. Hultborn, L. Mazieres, C. Morin, J. Nielsen, E. Pierrot-Deseilligny, Sensitivity of monosynaptic test reflexes to facilitation and inhibition as a function of the test reflex size: a study in man and the cat., *Experimental brain research*, 81 (1) :35-45(1990)
- 25) Floeter M.K., A.F. Kohn, H-reflexes of different sizes exhibit differential sensitivity to low frequency depression., *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 105(6):470-5(1997)
- 26) Aymard C., R. Katz, C. Lafitte, E. Lo, A. Pénicaud, P. Pradat-Diehl et al., Presynaptic inhibition and homosynaptic depression: a comparison between lower and upper limbs in normal human subjects and patients with hemiplegia., *Brain : a journal of neurology*, **123**(Pt 8) :1688-702(2000)
- 27) Malmgren K., E. Pierrot-Deseilligny, Evidence for non-monosynaptic Ia excitation of human wrist flexor motoneurones, possibly via propriospinal neurones., *The Journal of physiology*, 405:747-64 (1988)
- 28) Kato K., T. Muraoka, T. Higuchi, N. Mizuguchi, K. Kanosue, Interaction between simultaneous contraction and relaxation in different limbs., *Exp. Brain Res.*, 232(1) :181-9(2014)
- 29) Kato T., A. Sasaki, H. Yokoyama, M. Milosevic, K. Nakazawa, Effects of neuromuscular electrical stimulation and voluntary commands on the spinal reflex excitability of remote limb muscles., *Exp. Brain Res.*, 237(12) :3195-205(2019)
- 30) Dowman R., J.R. Wolpaw, Jendrassik maneuver

facilitates soleus H-reflex without change in average

soleus motoneuron pool membrane potential., *Experimental neurology*, **101** (2) :288-302(1988)

- 31) Hultborn H., E. Jankowska, S. Lindstrom, Relative contribution from different nerves to recurrent depression of Ia IPSPs in motoneurones., *The Journal of physiology*, 215(3):637-64(1971)
- 32) Katz R., A. Penicaud, A. Rossi, Reciprocal Ia inhibition between elbow flexors and extensors in the human., *The Journal of physiology*, 437:269-86 (1991)
- 33) Baret M., R. Katz, J.C. Lamy, A. Penicaud, I. Wargon, Evidence for recurrent inhibition of reciprocal inhibition from soleus to tibialis anterior in man., *Experimental brain research*, 152(1) :133-6 (2003)
- 34) McIntire S.L., R.J. Reimer, K. Schuske, R.H. Edwards, E.M. Jorgensen, Identification and characterization of the vesicular GABA transporter., *Nature*, 389(6653) :870-6(1997)
- 35) Ebben W.P., C.E. Kaufmann, M.L. Fauth, E.J. Petushek, Kinetic analysis of concurrent activation potentiation during back squats and jump squats., J. Strength Cond. Res. United States; p. 1515-9(2010)
- 36) Ebben W.P., E.J. Petushek, M.L. Fauth, L.R. Garceau, EMG analysis of concurrent activation potentiation., *Med. Sci. Sports Exerc.*, 42(3) :556-62 (2010)
- 37) Ebben W.P., D.H. Leigh, C.F. Geiser, The effect of remote voluntary contractions on knee extensor torque., *Med. Sci. Sports Exerc. United States;* p. 1805-9(2008)
- 38) Ehrlich R., D. Garlick, M. Ninio, The effect of jaw clenching on the electromyographic activities of 2 neck and 2 trunk muscles., J. Orofac. Pain., 13(2) :115-20(1999)