

— 原 著 —

ウサギ上下顎切歯からの側方顎反射

齋 島 弘 之 島 田 久八郎*

新潟大学歯学部小児歯科学教室

(主任: 野田 忠 教授)

*新潟大学歯学部口腔生理学教室

(主任: 島田久八郎 教授)

(1993年2月1日受付)

Lateral jaw movement reflex induced by mechanical stimulation to the upper
and lower incisors in the rabbit

Hiroyuki Haishima, Kyuhachiro Shimada*

Department of Pedodontics, Niigata University School of Dentistry

(Chief: Prof. Tadashi Noda)

Department of Oral Physiology, Niigata University School of Dentistry

(Chief: Prof. Kyuhachiro Shimada)

Key words: 下顎側方運動, 反射性制御, 頬骨下顎筋, 切歯, background activity

Abstract

The reflex control mechanisms, which were changed according to the level of muscle activity before stimulation (i. e., background activity: BGA), from the incisors to the zygomatico-mandibular muscle was investigated in the decerebrated rabbits. Motor unit activities in this muscle were recorded by electromyogram. Mechanical stimulation was applied to the maxillary and the mandibular incisors independently or simultaneously.

The results were as follows:

1. Excitatory reflexes could be easily elicited from the zygomatico-mandibular muscle by the stimulation to the contralateral, opposite to the recorded muscle, maxillary incisor and bilateral mandibular incisors. Inhibitory reflex could be easily induced in this muscle by the stimulation to the ipsilateral maxillary incisor.
2. Reversal levels calculated from BGA-response curves and reflex thresholds from the mandibular incisors were lower than those of contralateral maxillary incisor.
3. When the simultaneous stimuli were applied to the mandibular incisor and contralateral or ipsilateral maxillary incisor, reversal levels were higher than those of reflex response

induced from the stimulation to the independent incisor.

4. Excitatory reflex was elicited by the ipsilateral maxillary incisor, while preceding stimulation was applied to the mandibular incisor. However excitatory response from mandibular incisor was depressed when preceding stimulation was applied to the ipsilateral maxillary incisor.

It is suggested that positive feedback system functions on the lateral jaw movement to the ipsilateral side of occluded incisors, and that lateral jaw movements during mastication are controlled by integrative reflex mechanisms elicited from the maxillary and mandibular incisors.

要 旨

本研究は、上下顎切歯からの末梢性入力による下顎側方運動の反射性制御の解析を目的に行った。除脳ウサギの上下顎切歯に、単独ないし、上下顎同時の圧刺激を加え、刺激前の筋の活動状態(BGA)に応じて変化する頬骨下顎筋の反射性応答を調べ、以下のことを明らかにした。

1. 筋電図を記録している頬骨下顎筋からみて、反対側上顎切歯、両側下顎切歯単独刺激時には、主として興奮反射が引き起こされた。同側上顎切歯からは抑制反射だけが誘発された。
2. 反対側上顎切歯からの反射効果と下顎切歯からの効果を比較すると、反射効果が興奮から抑制に逆転するBGAの値(reversal level)ならびに、反射閾値が下顎切歯で低かった。
3. とともに興奮反射を生じやすい反対側上顎切歯と下顎切歯に同時に力を加えると、興奮反射が増強し、reversal levelが高くなった。下顎切歯と、抑制反射しか誘発しない同側上顎切歯に同時に力を加えても、下顎単独刺激時よりreversal levelが高くなり、下顎からの興奮効果が増強された。
4. 下顎切歯刺激を先行させて、同側上顎切歯を刺激すると、単独刺激時とは反射効果が大きく異なり興奮反射が誘発された。逆に同側上顎切歯刺激を先行させると、下顎切歯からの興奮効果が生じ難くなった。

以上のことから、頬骨下顎筋は上顎および下顎切歯から巧妙な反射性調節を受け、咬合圧が加わっている切歯と同側に下顎が偏位するポジティブフィードバック機構が働き、下顎側方運動が統合的に制御されていると考えられた。

ドバック機構が働き、下顎側方運動が統合的に制御されていると考えられた。

緒 言

近年、顎運動の解明が進み、生理学的、解剖学的に様々な研究が行われてきている。

生理学的顎運動の解明においては、歯からの開閉口反射についての研究¹⁻¹²⁾が多く、下顎の側方運動に関係する反射については、いくつかの報告¹³⁻¹⁵⁾があるにすぎない。

Lundら¹³⁾は、ウサギ上顎切歯に持続的圧刺激を加えると、刺激した切歯の反対側に下顎が偏位することをlateral jaw movement reflex(側方顎反射)として報告している。

この研究は、上顎切歯単独の刺激であったが、咬合時および、咀嚼時には上顎および下顎からの末梢性情報が同時に入力される。そこで、いまだ明らかにされていない下顎切歯からの反射効果について調べた。さらに上下顎同時刺激時の反射効果を調べ、五十嵐ら¹⁵⁾が臼歯からの反射で報告しているような下顎側方運動のポジティブフィードバック機構が切歯部にも存在するか検討し、上下顎切歯の統合作用による下顎側方運動の反射性制御について考察した。

実 験 方 法

体重約2.5~3.2kgの成熟ウサギを実験に使用し、約2.5%ハロタン麻酔下で手術を行った。気管切開した後、気管カニューレを挿入し、ハロタンを吸入させ、麻酔を維持した。薬剤投与と補液のため大腿静脈に静脈カニューレを留置した。

頭蓋骨表層の4ヶ所にスクリューを埋め込み、実験台に頭部を固定した後、通法に従い上丘直上レベルで除脳を行った。除脳後は麻酔濃度を1%未満に維持した。また、電気保温パッドで体温を保持した。

除脳切断面の止血を確認後、動物を仰臥位に固定した。下顎にはオトガイ部下縁から咬筋付着前縁部まで皮膚切開を加え、骨膜を剝離した後に、歯科用即時重合レジンを用いてシーネを成形し、骨と囲繞結紮した。実験中はこのシーネを実験台に強固に連結することで顎位を一定に保った。開口量は上下顎切歯切縁間で約10mmに固定した。

刺激はストレンゲージを貼付した刺激子を用い、手動ないしマニピレーターに接続して、上下顎切歯単独、あるいは上下顎切歯同時に唇側歯面に垂直な持続2～3秒の圧刺激を加えた。

上下顎切歯同時刺激時には刺激の立ち上りおよび、圧が同じになるようにした。

筋電図は片側の頬骨下顎筋から記録した。記録用電極には、皮下用注射針に直径50 μ mのエナメル線2本を封入した針電極を用いた。筋活動は生体用アンプで増幅し、刺激圧と共にデータレコーダーに収録した。

反対側上顎切歯への圧刺激により興奮反射が出現することに関してはすでに報告されており¹³⁾、この刺激を反復することにより、刺激終了後も興奮が持続することがあった。この後発射によりBGAを調節し、BGAと刺激中の発火頻度を比較した。BGAの測定は刺激の立ち上がりの直前の1秒間とし、刺激中の発火頻度の測定は反射の一過性応答を除き、緊張性応答時の1秒間とした。

上下顎左右切歯の反射応答の違いを比較検討するため、一連の実験終了まで、同一運動ユニットを記録した。刺激を与えた歯の左右側を表すには、記録筋からみて同側であるのか、反対側であるのかの表現とした。

実験結果

ウサギ上顎切歯に持続的圧刺激を加えると下顎が刺激側の反対側に偏位する¹³⁾ことはすでに知られているが、下顎切歯からの反射性制御について

はいまだ明らかにされていない。そこで、上下顎切歯単独刺激時の頬骨下顎筋の反射応答を調べ、比較検討した。

また、咬合時には、上下顎切歯歯根膜からの求心性情報が同時に入力されるので、上下顎切歯同時刺激時の反射応答について定量的解析を行った。

I. 上顎切歯刺激の効果

下顎を固定しない状態で、上顎切歯に圧刺激を加えると、反射閾値を約300gとして頬骨下顎筋に反射性筋活動が生じた。頬骨下顎筋に、反対側の切歯刺激では興奮反射、同側の刺激では抑制反射が引き起こされた。これは、Lundら¹³⁾の報告と同様の結果であった。

下顎を固定した状態でも、同じ様な反射効果が生じたが、反射閾値が約100gに低下した。

また、反対側上顎切歯に反復刺激を加えると、刺激終了後も頬骨下顎筋運動ユニットに興奮がしばしば持続した。このことは、下顎を固定した状態の時だけに観察された。

歯への刺激によって生じる反射性筋活動は、刺激前の運動ユニットの活動状態すなわちBGAに応じて変化する^{10,12,15-23)}ことが知られている。

そこで、下顎を固定した状態で、反対側上顎切歯を反復刺激することにより後発射を調節し、様々なBGAのレベルのもとで以下の実験を行った。

上顎切歯刺激によって生じる頬骨下顎筋の反射性筋活動も、BGAに応じて変化した。

反対側上顎切歯に刺激を加えると、BGAが生じていない時には緊張性興奮反射によって発火頻度が23Hzとなった(図1A)。BGAが20Hzとやや高い状態では、刺激による反射効果は認められなかった(図1B)。さらにBGAが高く23Hzの時には、刺激中の発火頻度は16Hzとなり、持続性の抑制反射が生じた(図1C)。

同側上顎切歯に圧刺激を加えると、BGAが、1Hz、11Hz、21Hzのいずれの時にも抑制反射が生じ、運動ユニット活動が消失した(図1D, E, F)。

反対側上顎切歯刺激時と、同側上顎切歯刺激時のBGAに応じた反射応答の変化を、BGA—

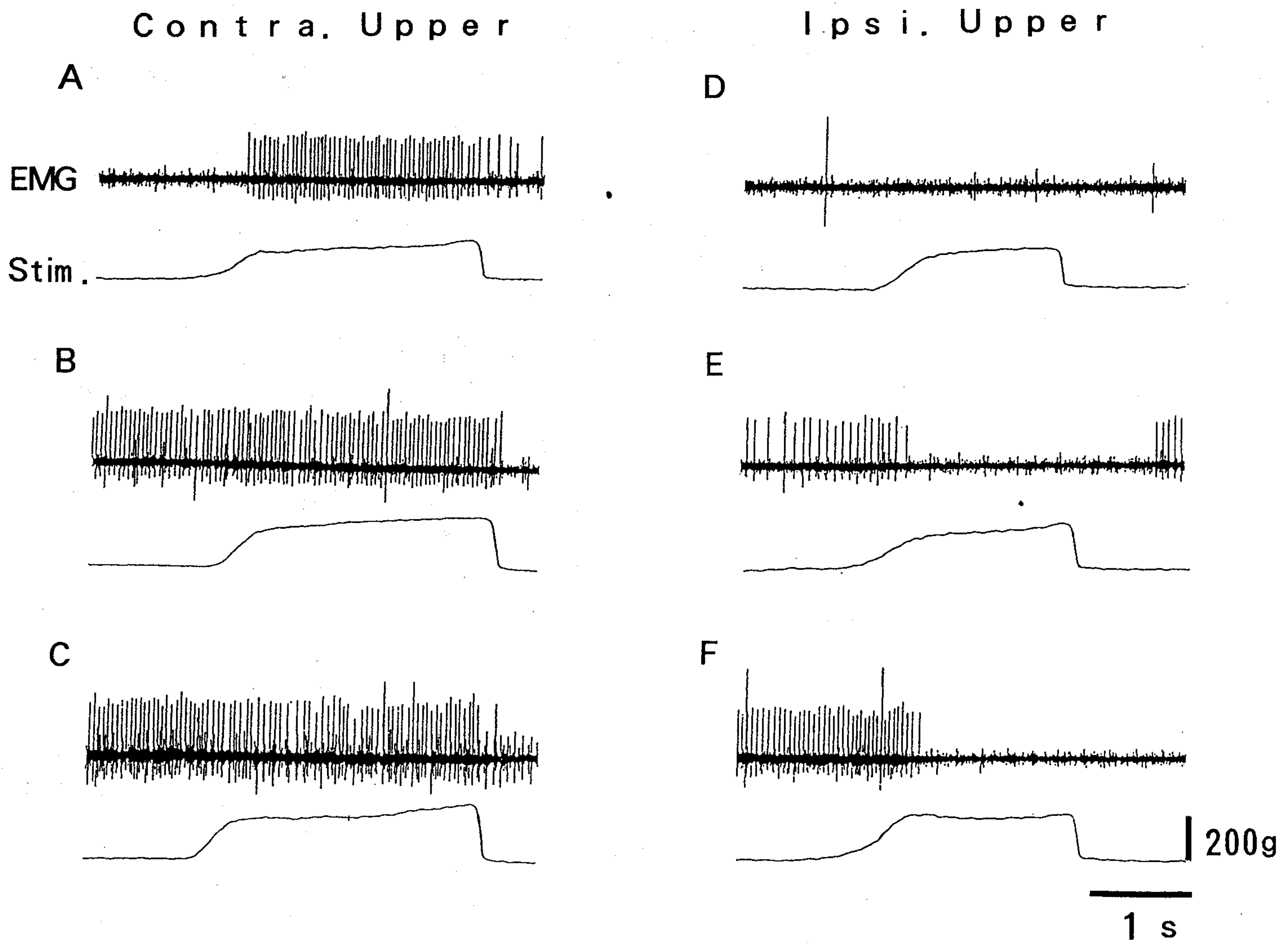


図1 反対側および同側上顎切歯圧刺激による頬骨下顎筋反射の応答

各記録の上段は頬骨下顎筋の筋電図、下段は圧刺激

A, B, C: 反対側上顎切歯への圧刺激

D, E, F: 同側上顎切歯への圧刺激

BGA: A-0Hz, B-20Hz, C-23Hz, D-1Hz, E-11Hz, F-21Hz

Aでは興奮反射が生じている。Bでは刺激による反射効果が認められない。Cでは弱い抑制反射が、D, E, Fでは顕著な抑制反射がみられる。

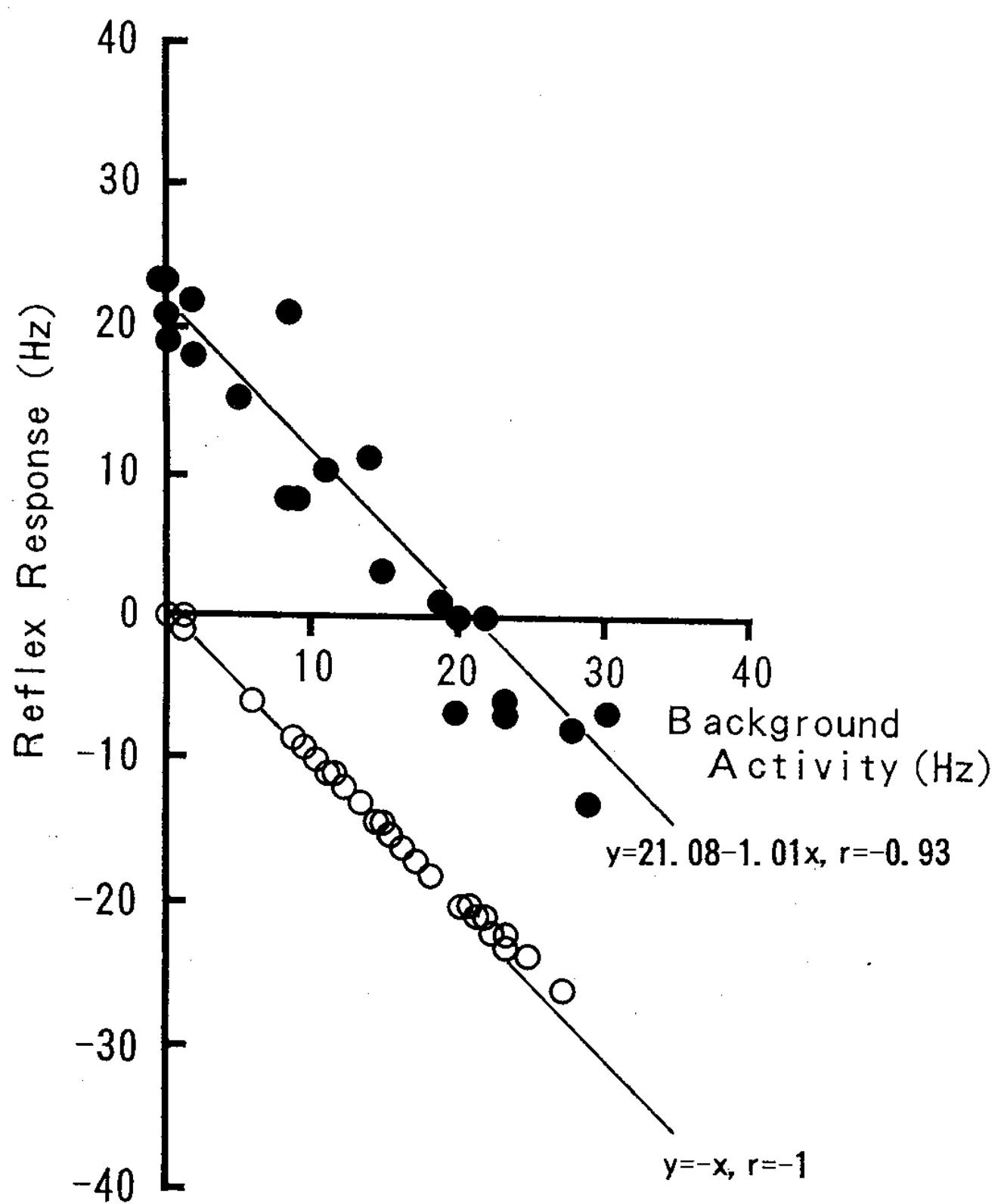


図2 同側および反対側上顎切歯圧刺激による頬骨下顎筋のBGAと反射効果の関係

●: 反対側上顎切歯刺激

○: 同側上顎切歯刺激

縦軸反射効果のプラスの値は興奮反射、マイナスの値は抑制反射を表わす。反対側上顎切歯では容易に興奮反射が引き起こされるのに対し、同側上顎切歯では、顕著な抑制反射が生じている。

response curve で示すと図2の様になる。グラフの横軸はBGA、縦軸は反射応答を表わし、縦軸の正の値は興奮反射を、負の値は抑制反射を示している。

反対側上顎切歯刺激では低いBGAの時には興奮効果が顕著であるが、BGAが高まるにつれ興奮効果が減弱し、やがて抑制に逆転している。

この応答について回帰分析を行うと、 $y = 21.08 - 1.01x$, $r = -0.93$ となる。この式から反射効果が興奮から抑制に転じるBGAの値、reversal level¹⁶⁾を求めると20.9Hzとなる。したがって、BGAが約21Hz以下では、Lundらの報告¹³⁾と同様、興奮反射が生じやすいといえる。しかし、約21Hz以上では抑制反射が優位に出現

することが明らかとなった。

同側上顎切歯刺激では、低頻度BGAから抑制反射だけしか生じず¹³⁾、また、BGAが高まると抑制効果が増強している。

II. 下顎切歯刺激の反射効果

下顎切歯刺激時の頬骨下顎筋への反射効果は、同側刺激、反対側刺激に関わらず、ともに興奮効果が優勢で反対側上顎切歯刺激の効果と類似していた。

同側刺激、反対側刺激のいずれでも低頻度、中頻度BGAでは上顎切歯の約1/2の約50gを反射閾値とする興奮反射が生じた(図3A, B, D, E)。BGAが高くなり18Hzになると、いずれの

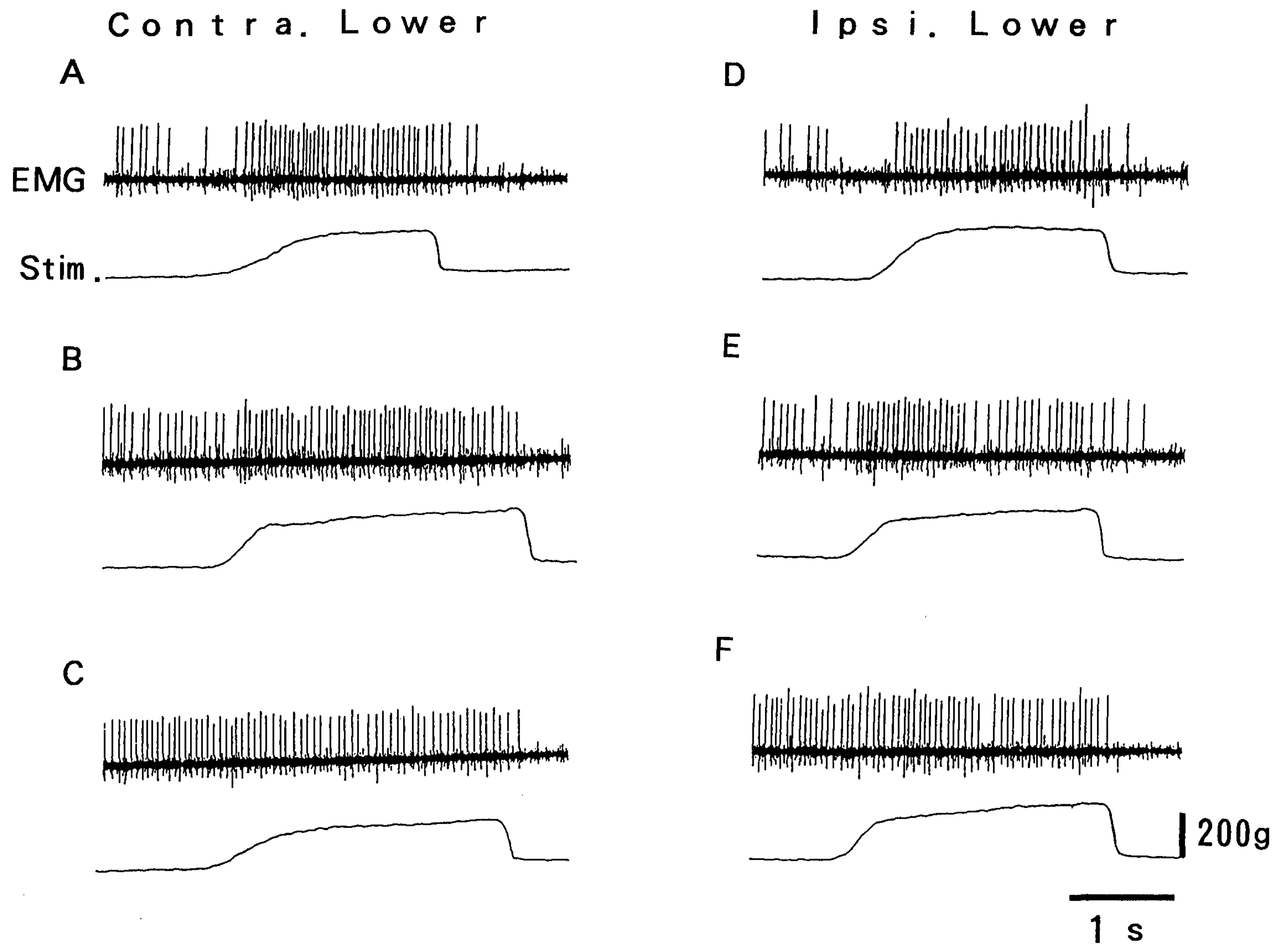


図3 反対側および同側下顎切歯圧刺激による頬骨下顎筋の反射応答
各記録の上段は頬骨下顎筋の筋電図、下段は圧刺激
A, B, C: 反対側下顎切歯への圧刺激
D, E, F: 同側下顎切歯への圧刺激
BGA: A-7Hz, B-12Hz, C-18Hz, D-6Hz, E-9Hz, F-18Hz
A, B, D, Eでは興奮反射が生じている。C, F抑制反射がみられる。

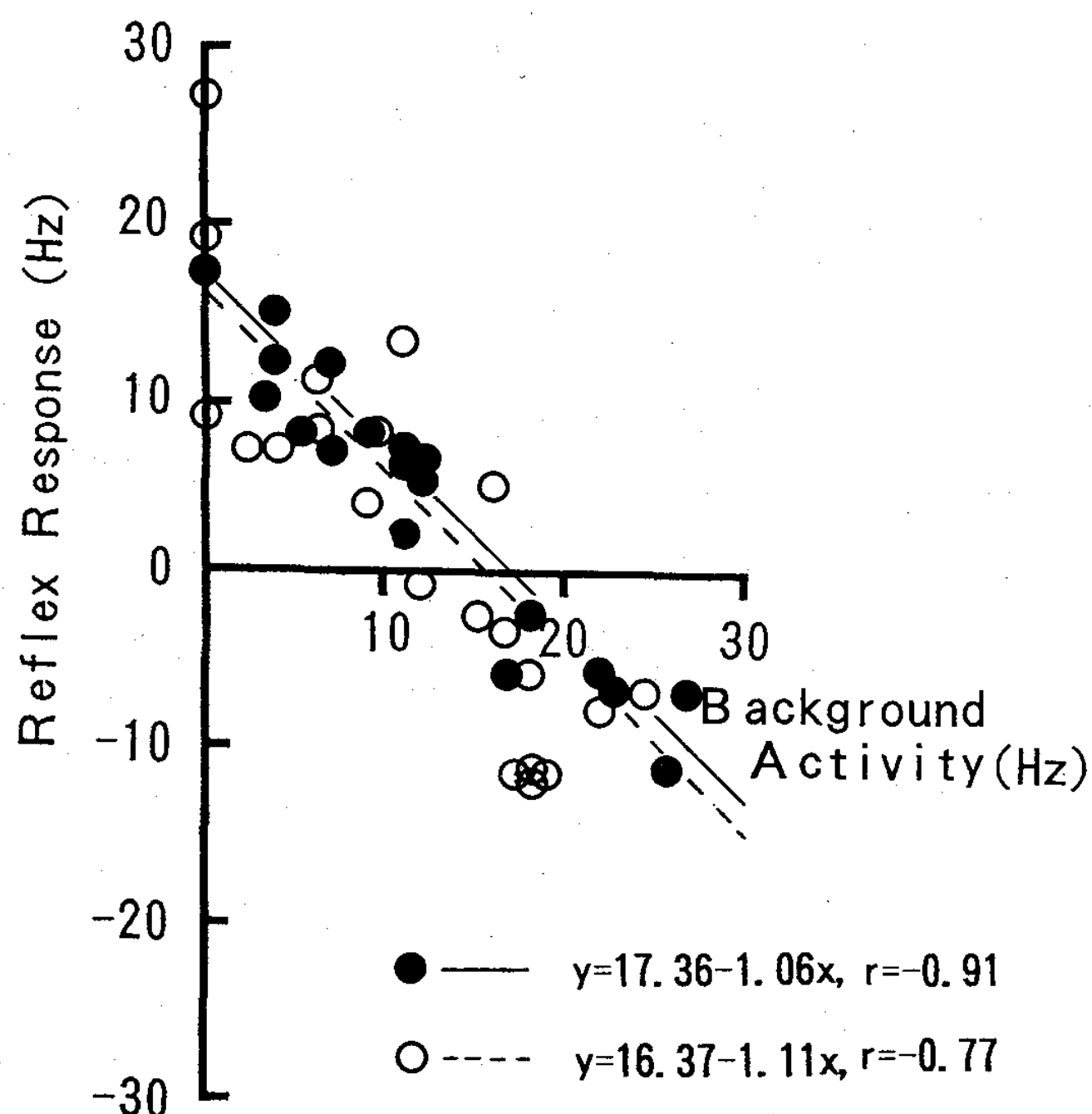


図4 同側および反対側下顎切歯圧刺激による頬骨下顎筋のBGAと反射効果の関係

●：反対側下顎切歯刺激

○：同側下顎切歯刺激

反対側、同側ともに低頻度BGAでは容易に興奮反射を引き起こすのに対して、BGAが高くなることにより抑制反射が生じている。

刺激でも抑制反射が生じた(図3C, F)。

下顎切歯刺激時の頬骨下顎筋のBGA-response curveを図4に示す。同側刺激、反対側刺激の効果には認められるほどの差はなかった。いずれの刺激時にも低頻度のBGAの時には強い興奮効果が出現している。BGAが高くなるに従い興奮効果は減弱し、やがて反射効果が興奮から抑制に逆転している。

このグラフの回帰分析を行うと、同側については $y = 16.37 - 1.11x$, $r = -0.77$ 、反対側については $y = 17.36 - 1.06x$, $r = -0.91$ となる。これより reversal level を求めると、それぞれ14.7Hz、16.4Hzとなった。

回帰係数の差の検定(t検定)を行い、下顎切歯の刺激側による反射応答を比較したが、傾き、y切片ともに有意差は認められなかった。しかし、反対側上顎切歯刺激の効果と比較すると、傾きには有意差は認められないが、y切片については有意差を認め、下顎切歯が低い値を示した($p < 0.05$)。

以上のことから、両側の下顎切歯からの反射応答は、反対側上顎切歯刺激の応答と同様に、興奮反射が優勢であるが、興奮効果はやや弱いといえる。

上顎切歯では、反対側からは興奮反射が生じや

すく、同側からは抑制反射が出現するといった明確な左右差があった。しかし、下顎切歯では反対側、同側のいずれからでもほぼ等しい反射効果が出現し、その反射閾値は上顎切歯と比較して低いことが明らかとなった。

III. 上下顎切歯同時圧刺激に対する頬骨下顎筋の応答

咬合時には上下顎からの求心性入力が同時に生じるが、上顎と下顎で異なる調節機構が、どのように頬骨下顎筋への反射性調節に影響を与えるのかを検討するため、次に上下顎切歯の同時刺激を行った。

1. 反対側上顎切歯と下顎切歯の同時刺激

筋電図を記録している頬骨下顎筋からみて上下顎とも反対側切歯を同時に刺激すると、BGAが11Hzの時と、21Hzの時には運動ユニット活動が増加して、ともに興奮反射が生じた。これに対して、BGAが32Hzとさらに高くなると、刺激中の運動ユニット活動がわずかに減少し、抑制反射が出現した(図5A, B, C)。

反対側上顎切歯と同側下顎切歯を同時に刺激すると、BGAが3Hzと低頻度の時には、運動ユニット活動が増加して、興奮反射が生じた。BGAが20Hzと中頻度の時には、刺激による運

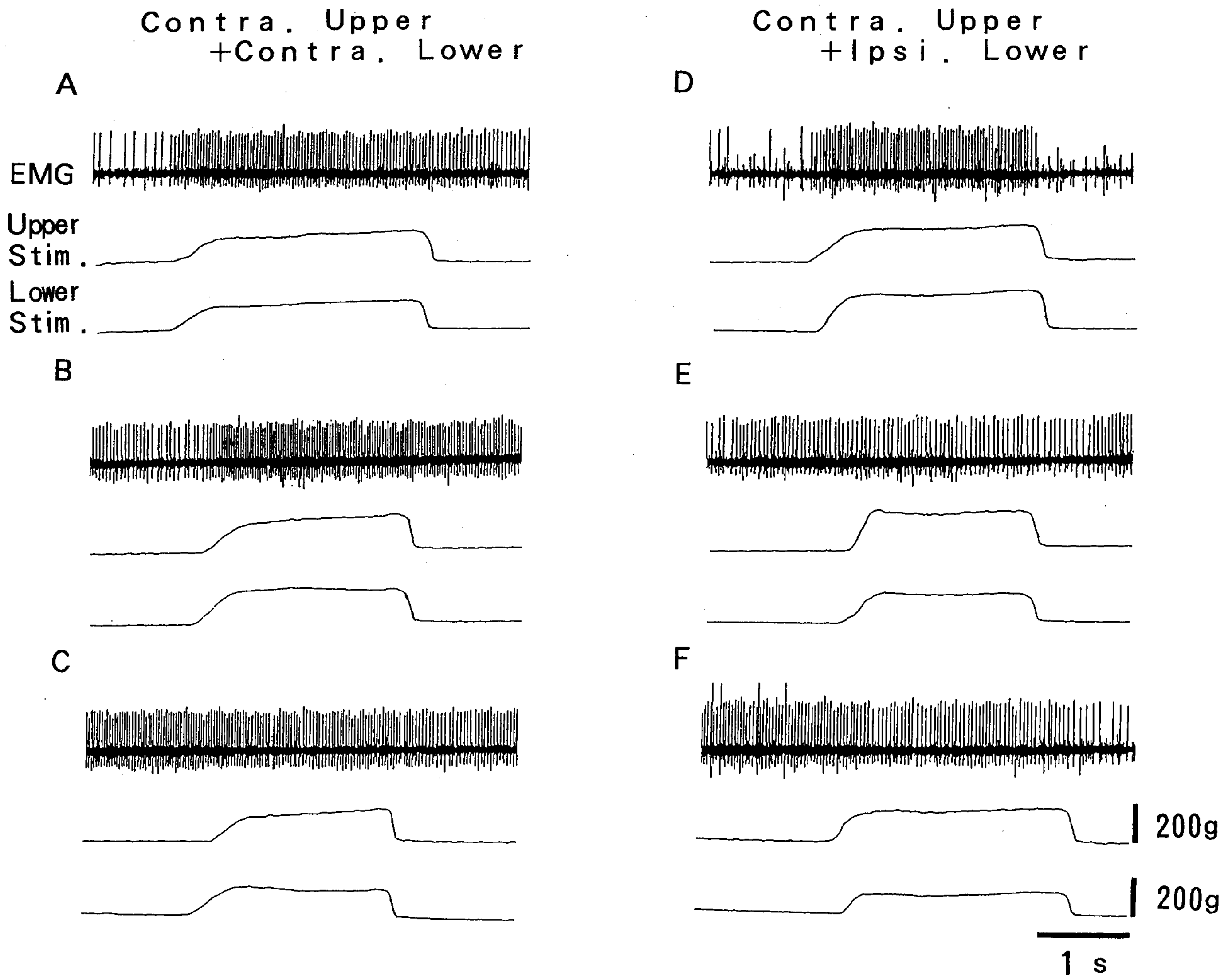


図5 反対側上顎切歯・下顎切歯同時刺激による頬骨下顎筋の反射応答
各記録の上段は頬骨下顎筋の筋電図、中段は上顎切歯圧刺激、下段は下顎切歯圧刺激
A, B, C: 反対側上顎切歯・反対側下顎切歯同時刺激
D, E, F: 反対側上顎切歯・同側下顎切歯同時刺激
BGA: A-11Hz, B-21Hz, C-32Hz, D-3Hz, E-20Hz, F-26Hz
A, B, Dでは興奮反射が生じている。Eでは反射性の増減は認められない。C, F
では抑制反射がみられる。

動ユニット活動には増減は認められなかった。これに対して、BGAが26Hzと高くなると、刺激中の運動ユニット活動がわずかに減少し、頬骨下顎筋に抑制反射が出現した(図5 D, E, F)。

この解析は、図1～4と同一の運動ユニットで記録されたものである。

上下顎とも反対側切歯を同時に刺激した時のBGA-response curveを図6 Aに、反対側上顎切歯と同側下顎切歯を同時に刺激した時のBGA-response curveを図6 Bに示す。反射

効果を定量的に比較するために、それぞれの単独刺激により得られた回帰直線を合わせて表示する。図中の直線aは反対側上顎切歯の、直線bはそれぞれ同時に刺激した下顎切歯の単独刺激の回帰直線を示す。これらは、図2および4に示した同一運動ユニットの反射応答から得られた回帰直線である。

単独刺激に比較して、いずれの同時刺激の場合も興奮効果が強くなっている。同時刺激時の応答の回帰直線を求めると、上下顎とも反対側切歯を

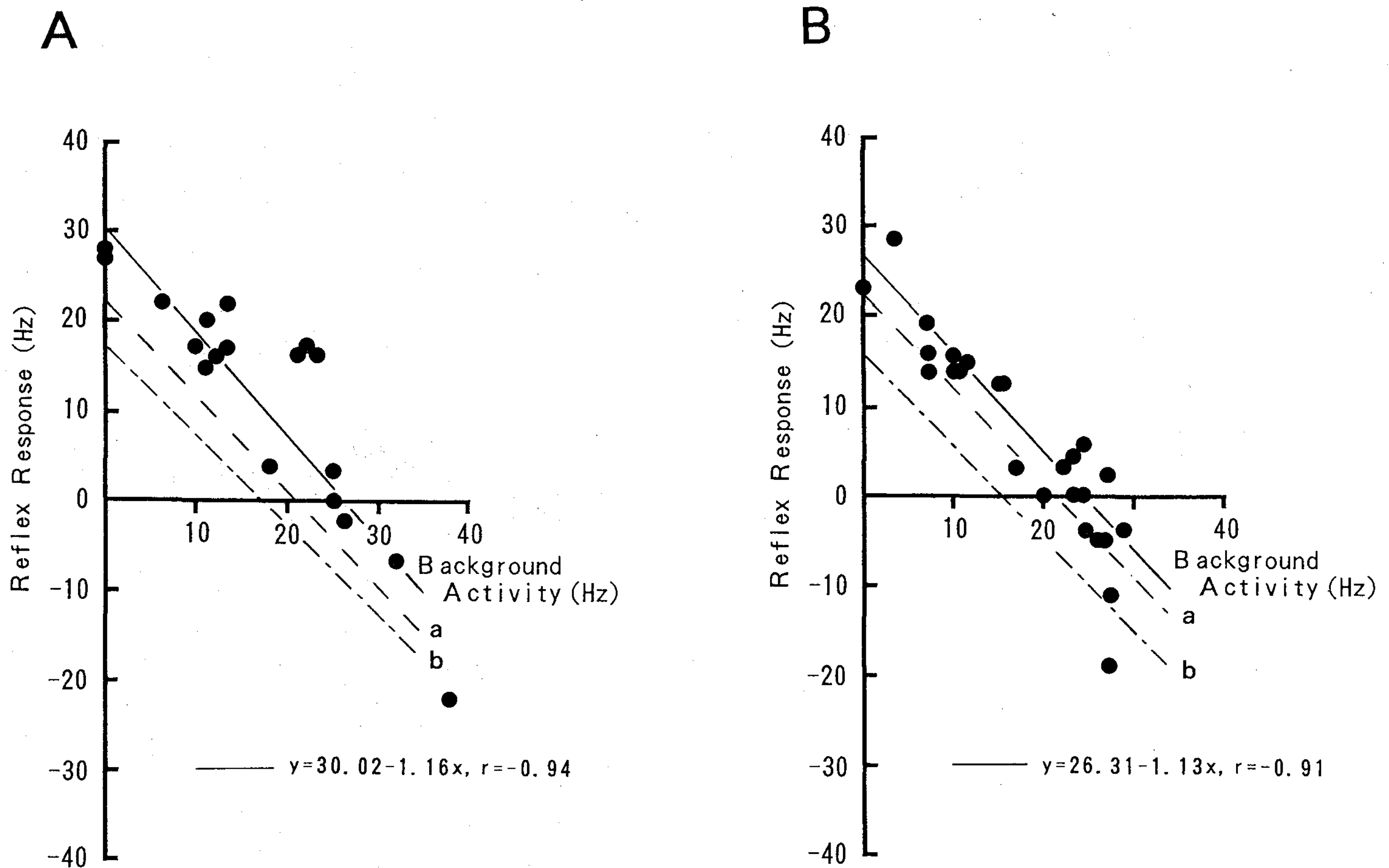


図6 反対側上顎切歯・下顎切歯同時圧刺激による頬骨下顎筋のBGAと反射効果の関係
 A：反対側上顎切歯・反対側下顎切歯同時圧刺激
 B：反対側上顎切歯・同側下顎切歯同時圧刺激
 直線a：反対側上顎切歯単独刺激時の反射効果の回帰直線
 直線b：同時に刺激した下顎切歯単独刺激時の反射効果の回帰直線
 同時刺激により興奮反射が増強されている。

同時に刺激した時には、 $y = 30.02 - 1.16x$ ， $r = -0.94$ となり、反対側上顎切歯と同側下顎切歯を同時に刺激した時には、 $y = 26.31 - 1.13x$ ， $r = -0.91$ となる。これらより、reversal levelを求めると、それぞれ、25.8Hz、23.2Hzとなる。

回帰係数の差の検定（t検定）を行い、同時刺激時の頬骨下顎筋の反射応答を、単独刺激時の反射応答と比較したが、傾きはいずれの同時刺激時も、単独刺激時との間に有意差は認められなかった。一方、y切片については、上下顎とも反対側切歯の同時刺激では、それぞれの単独刺激の値に対して、有意（ $p < 0.01$ ）に高かった。反対側上顎切歯と同側下顎切歯の同時刺激では、上顎単独、下顎単独の値に対してそれぞれ有意に高かった（ $p < 0.05$ 、 $p < 0.001$ ）。

以上の結果から、反対側上顎切歯と下顎切歯を

同時に刺激した場合、単独刺激時よりも興奮効果が増強されることが明らかとなった。

2. 同側上顎切歯と下顎切歯の同時刺激

次に、抑制反射だけを引き起こす同側上顎切歯と、興奮反射の生じやすい左右下顎切歯との間の加重効果について調べた。

筋電図を記録している頬骨下顎筋からみて同側上顎切歯を反対側下顎切歯あるいは、同側下顎切歯と同時に刺激すると、いずれもBGAが低頻度、中頻度の時には、顕著な興奮反射が生じた。BGAが高頻度の時には抑制反射が出現したが、運動ユニット活動の完全な消失は生じなかった（図7A-F）。

この解析は、図1～6と同一の運動ユニットで記録されたものである。

同側上顎切歯を反対側下顎切歯と同時に刺激した

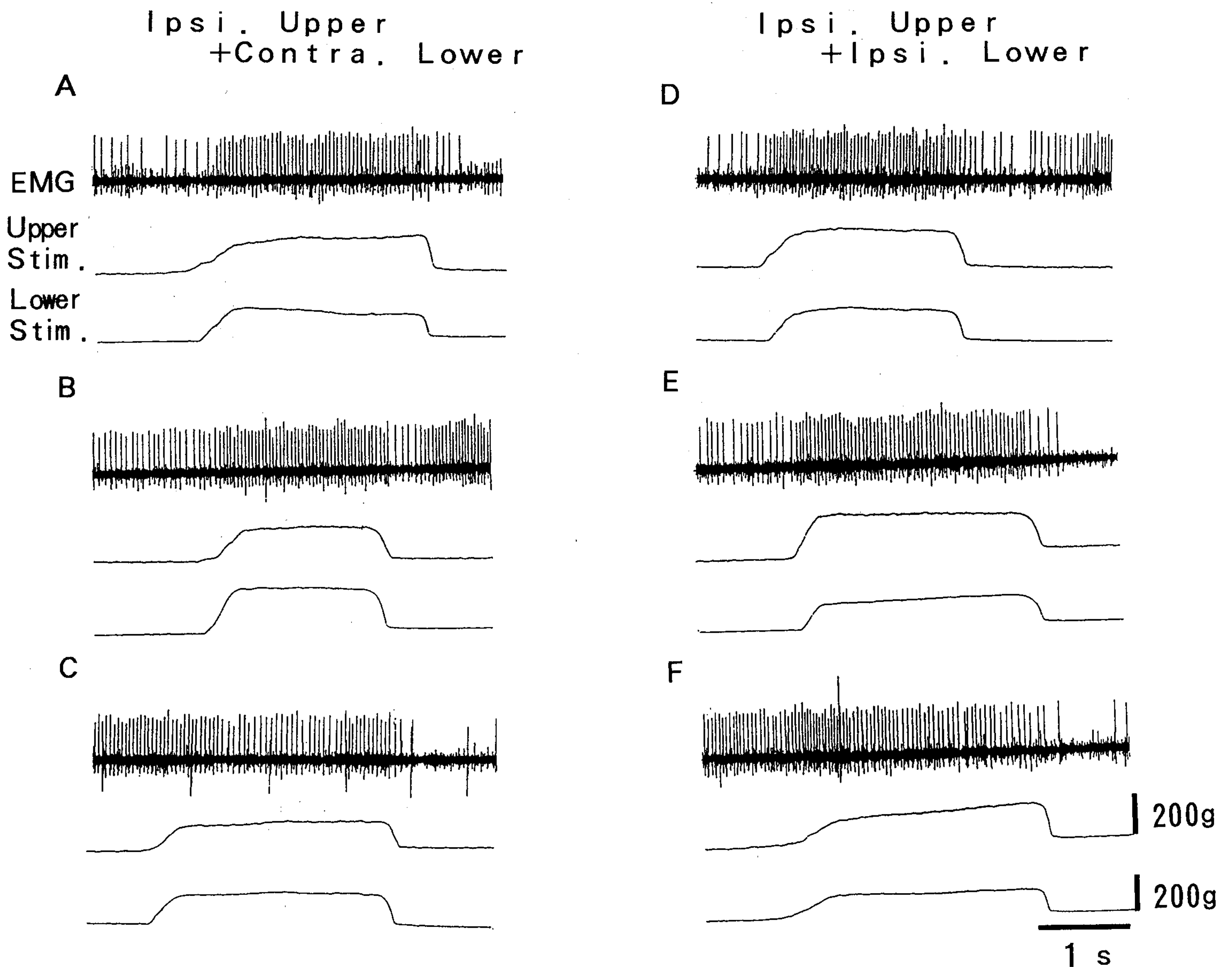


図7 同側上顎切歯・下顎切歯同時刺激による頬骨下顎筋の反射応答
各記録の上段は頬骨下顎筋の筋電図、中段は同側上顎切歯圧刺激、下段は下顎切歯圧刺激
A, B, C: 同側上顎切歯・反対側下顎切歯同時刺激
D, E, F: 同側上顎切歯・同側下顎切歯同時刺激
BGA: A-4 Hz, B-12Hz, C-24Hz, D-7 Hz, E-16Hz, F-24Hz
A, B, D, Eでは興奮反射が、C, Fでは抑制反射が生じている。

時の BGA-response curve を図8Aに、上下顎とも同側切歯を同時に刺激した時の BGA-response curve を図8Bに示す。反射効果を定量的に比較するために、それぞれの単独刺激により得られた回帰直線を合わせて表示する。図中の直線aは、同側上顎切歯単独刺激時の、直線bはそれぞれ同時に刺激した下顎切歯の単独刺激時の回帰直線を表わしている。これらは、図2、4に示した同一運動ユニットの反射応答から得られた回帰直線である。

いずれの同時刺激においても、下顎単独刺激に比べて興奮効果が強くなっている。同時刺激時の応答の回帰直線を求めると、同側上顎切歯と反対側下顎切歯の同時刺激で、 $y = 21.59 - 1.02x$, $r = -0.87$ となり、上下顎とも同側切歯の同時刺激で、 $y = 20.40 - 0.92x$, $r = -0.86$ となる。これらより、reversal level を求めると、それぞれ、21.2Hz、22.2Hz となる。

回帰係数の差の検定 (t 検定) を行い、同時刺激時の反射効果を単独刺激時の反射効果と比較し

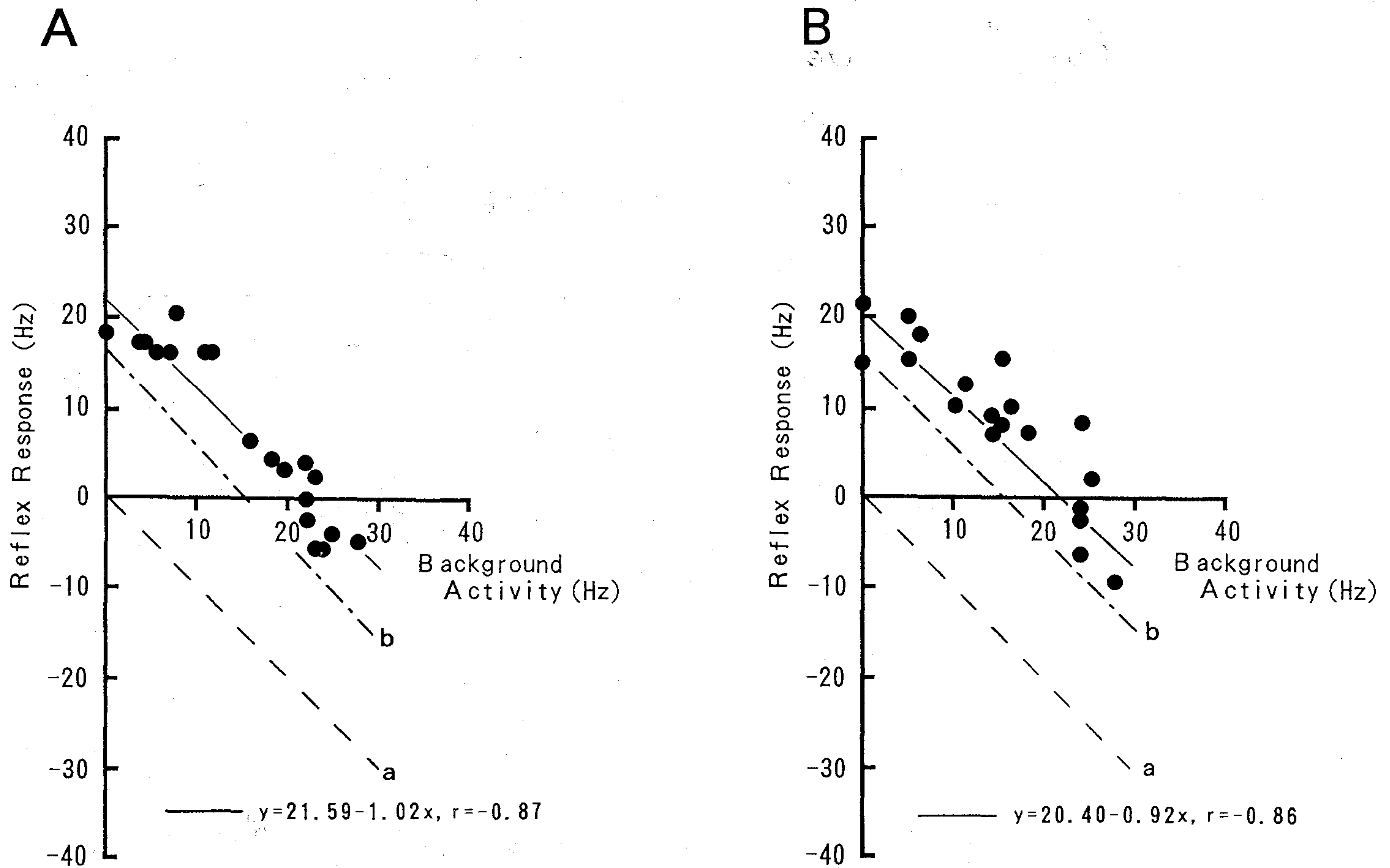


図8 同側上顎切歯・下顎切歯同時圧刺激による頬骨下顎筋のBGAと反射効果の関係

A：同側上顎切歯・反対側下顎切歯同時圧刺激

B：同側上顎切歯・同側下顎切歯同時圧刺激

直線 a：同側上顎切歯単独刺激時の反射効果の回帰直線

直線 b：同時に刺激した下顎切歯単独刺激時の反射効果の回帰直線

同時刺激により下顎切歯単独刺激より強い興奮反射が誘発されている。

たが、いずれの同時刺激時の傾きも、単独刺激時の値と有意差は認められなかった。一方、y切片については、いずれの同時刺激時の値も同側上顎単独刺激の値、下顎切歯単独刺激の値それぞれに対して有意に高かった ($p < 0.001$, $p < 0.05$)。

したがって、同側上顎切歯は単独に力が加わると頬骨下顎筋に抑制反射だけを生じる。しかし、下顎切歯と同時に力が加わると、反射効果は大きく異なり興奮反射がひき起こされる。また、その興奮効果は下顎切歯単独に力が加わったときよりも強くなることが明らかとなった。

IV. 刺激部位と reversal level の関係

同一の運動ユニットで全ての応答を記録することにより、異なる刺激部位の反射応答を定量的に比較することが可能になる。前述の結果、図1～8は全て同一運動ユニット活動の記録であり、定

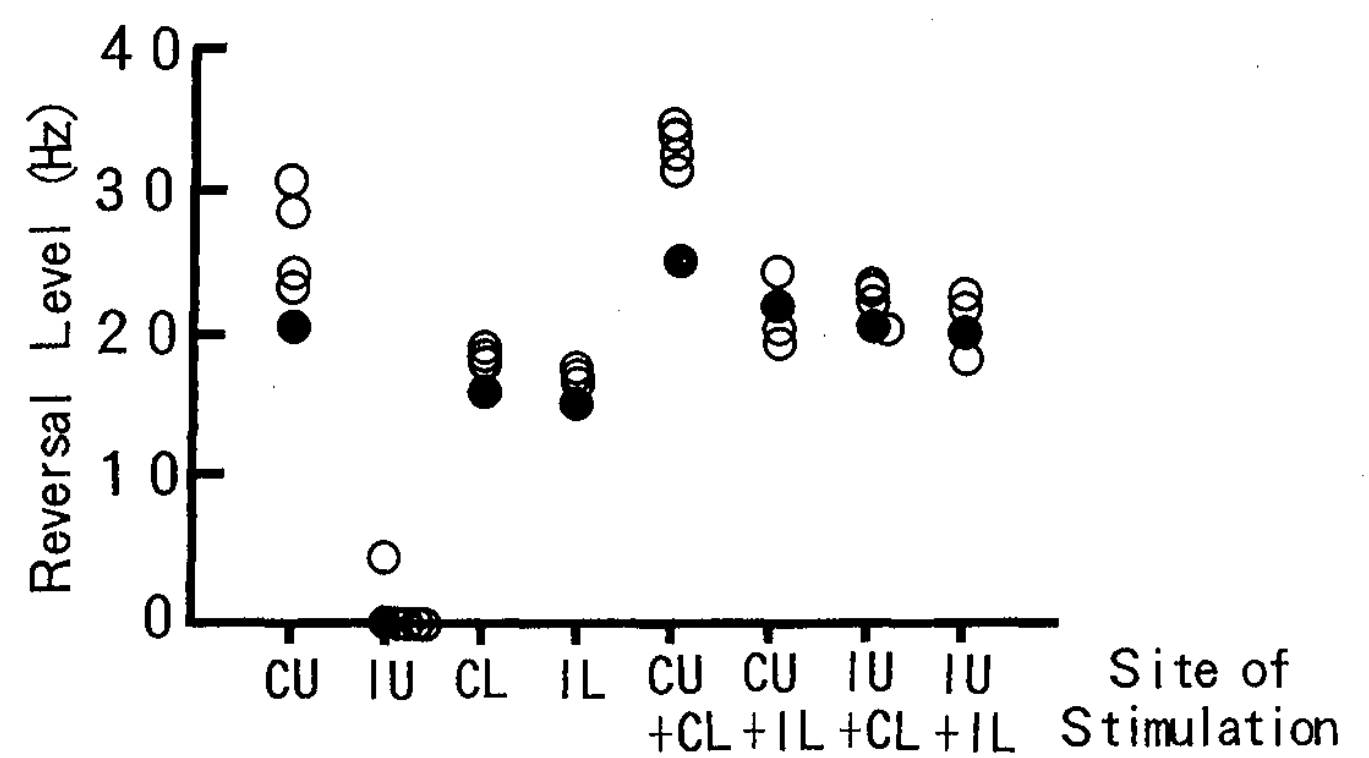


図9 刺激部位と reversal level との関係

CU：反対側上顎切歯、IU：同側上顎切歯

CL：反対側下顎切歯、IL：同側下顎切歯

CU+CL：反対側上顎切歯・反対側下顎切歯同時刺激

CU+IL：反対側上顎切歯・同側下顎切歯同時刺激

IU+CL：同側上顎切歯・反対側下顎切歯同時刺激

IU+IL：同側上顎切歯・同側下顎切歯同時刺激

黒丸は、図1～8での同一運動ユニットを表す。同時刺激により興奮反射が増強されている。

量的比較を行えたものである。

しかし、同一運動ユニットで8種類全ての刺激に対する反射応答の解析に成功することは少なかった。そこで、全ての刺激部位の応答を記録することはできなかった結果も合わせて検討した。

図9の横軸は刺激部位を、縦軸は reversal level を表す。

同一ユニットでの応答と同様に、いずれの同時刺激時の場合でも reversal level は上下顎切歯単独刺激時の値より高くなっている。

したがって、頬骨下顎筋は上顎の反対側切歯に力が加わると興奮反射が、同側切歯に力が加わると抑制反射が生じる。しかし、下顎切歯と同時に力が加わると興奮効果のみが出現し、その効果は単独切歯からの効果より増強されることが定性的にも明らかとなった。

V. 片顎切歯持続刺激中の対顎切歯刺激の効果

本項では、いかなる条件下で同側上顎切歯からの抑制効果が消失するのかを明らかにするために、同側上顎切歯、同側下顎切歯いずれか一方に持続的刺激を与えている間に、他方に圧刺激を加える実験を行った。

1. 下顎切歯持続刺激中の上顎切歯刺激の効果

下顎切歯に圧刺激を加え、あらかじめ頬骨下顎筋に緊張性の興奮を生じさせた状態で、同側上顎切歯を圧刺激した時の反射応答を調べた。

下顎切歯の刺激圧に応じて頬骨下顎筋の興奮効果が変化した。

図10には大小2種類の運動ユニットの同時記録例が示されている。下顎切歯への刺激圧が高まるにつれ強い興奮反射が頬骨下顎筋に生じた。弱い刺激でまず図中の小さい運動ユニットに興奮反射が出現し、刺激を強めると小運動ユニットに次いで大きな運動ユニットに興奮反射が生じた。

下顎切歯の刺激によって、頬骨下顎筋に小運動ユニットの興奮が生じている状態であれば、筋電図を記録している頬骨下顎筋からみて同側上顎切歯圧刺激で大小いずれの運動ユニットにも興奮反射が出現した(図10B, C, D)。

これに対して、同側上顎切歯を単独で刺激した

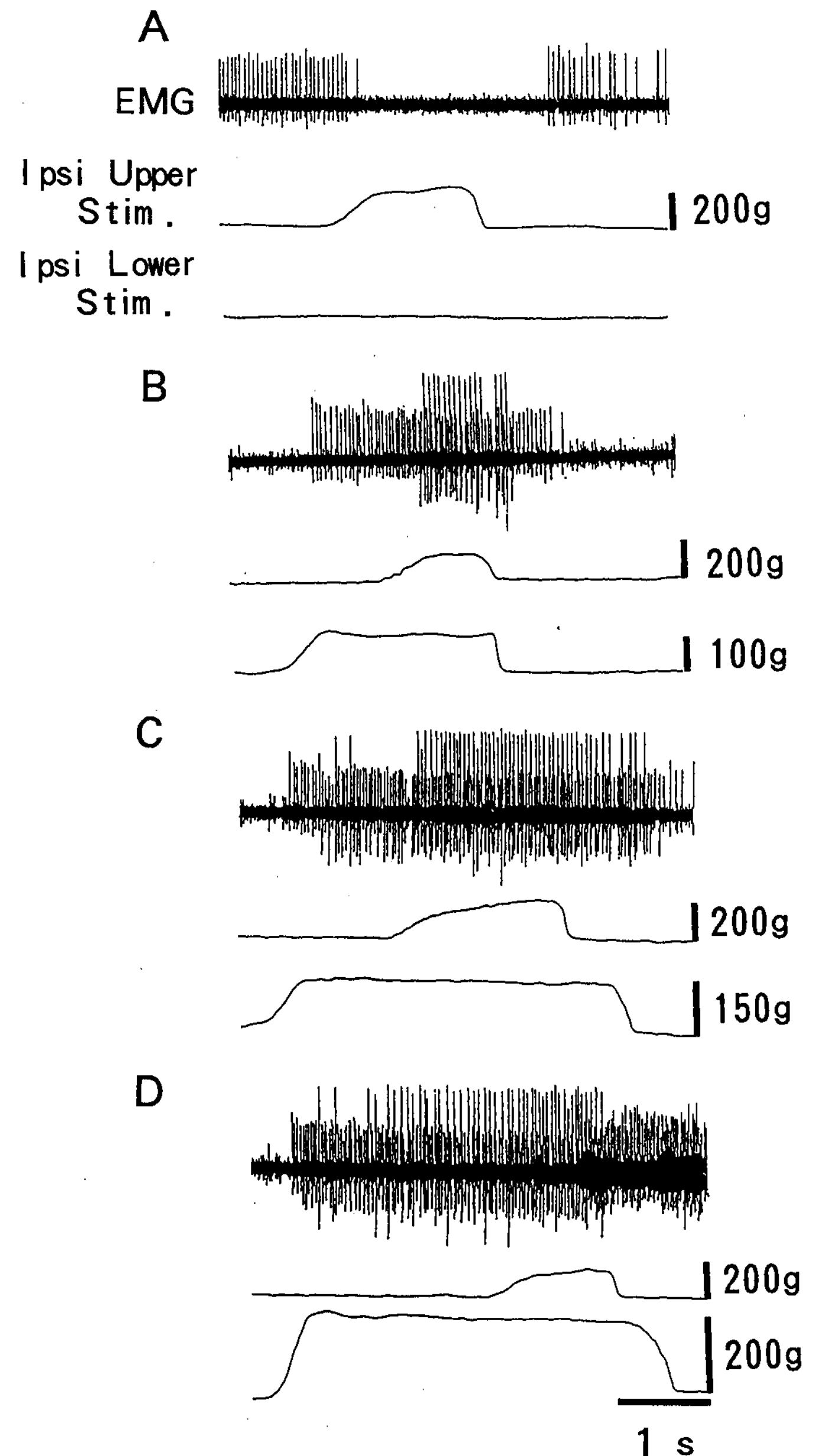


図10 下顎切歯先行刺激時における同側上顎切歯刺激の効果

各記録の上段は頬骨下顎筋の筋電図、中段は同側上顎切歯圧刺激、下段は同側下顎切歯圧刺激
下顎切歯先行刺激により頬骨下顎筋に活動が生じているときには、同側上顎切歯刺激により興奮反射が生じている。

時には抑制反射だけが生じた(図10A)。

同側上顎切歯を単独刺激した時と、下顎切歯を先行刺激した時の、それぞれのBGAに応じた反射効果の変化について定量解析した(図11)。

同側上顎切歯単独刺激時には、BGAの低い時にも、高いときにも抑制反射だけが生じるが、下顎切歯刺激を先行させた時には、同側上顎切歯刺

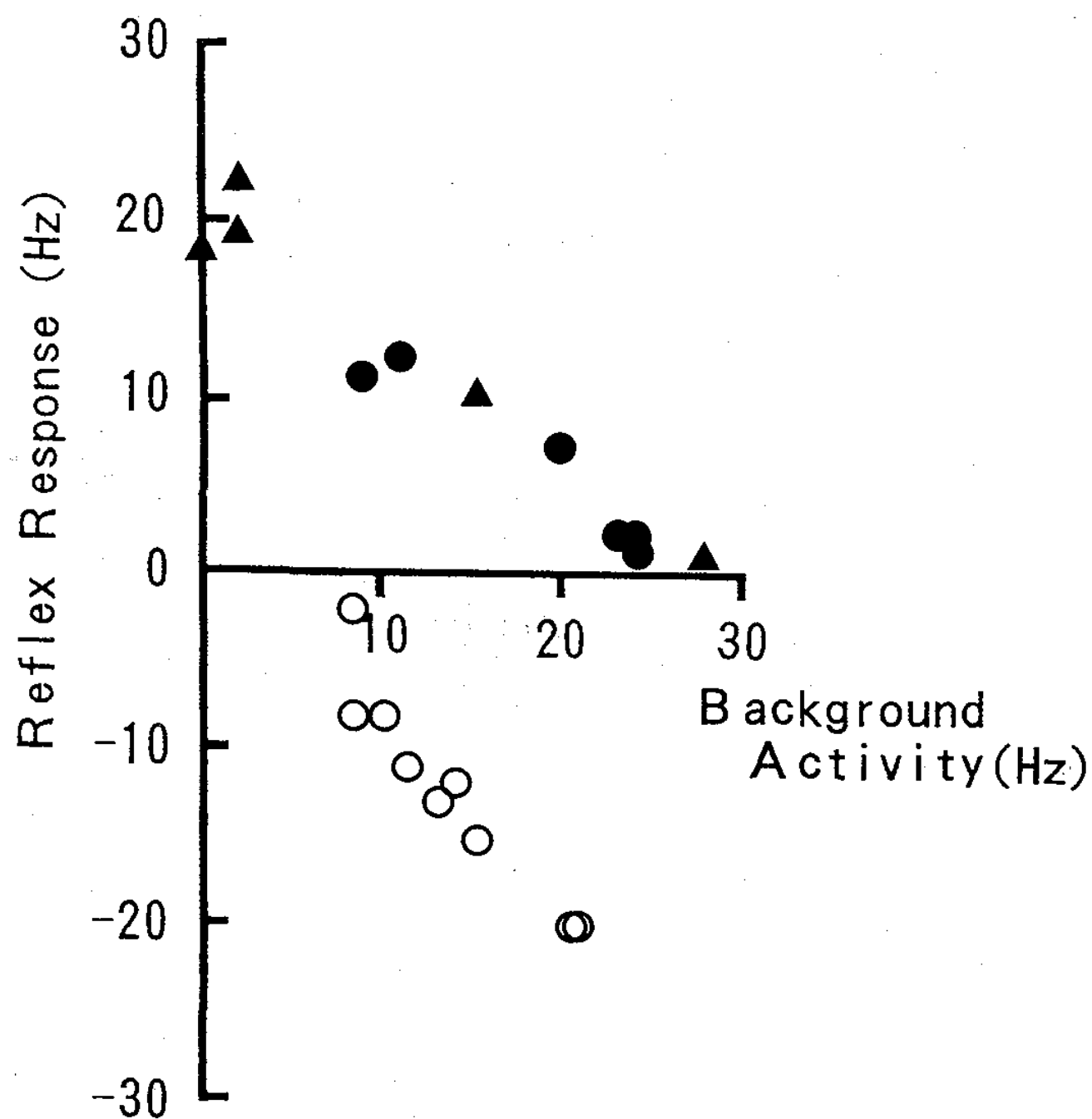


図11 下顎切歯先行刺激時における同側上顎切歯刺激の効果とBGAの関係

●▲：下顎切歯先行刺激時の同側上顎切歯刺激の効果

○：同側上顎切歯単独刺激の効果

丸印は図10における小スパイク、三角印は大スパイクを表す。下顎先行刺激時には興奮反射が、上顎単独刺激時には抑制反射が生じている。

激であっても、興奮反射が出現し、BGAが高くなるに従い興奮効果が減弱することが明らかになった。

2. 同側上顎切歯持続刺激中の下顎切歯刺激の効果

単独では抑制効果しか有さない同側上顎切歯への刺激を先行させた。

同側上顎切歯刺激により、運動ユニットの活動は消失するため、BGAに応じた反射効果の解析が行えなかった。そこで、下顎切歯単独刺激と、同側上顎切歯を先行刺激とした時の刺激強度との反射応答の関係 (Strength-response curve) について調べた (図12)。

単独刺激時の反射閾値が、約60 gであり、刺激圧の増強に応じて、運動ユニットの活動は増加し、約150 g以上で、およそ30Hzで一定になった。

これに対して、同側上顎切歯を先行刺激とした時には、反射閾値が約300 gと高くなった。また、刺激圧を400 gに強めても、およそ10Hzの興奮しか生じなかった。

この様に、単独刺激時に持続性の抑制効果を有する同側上顎切歯を先行刺激とした場合、下顎切歯からの興奮効果が生じ難くなることが明らかとなった。

以上の結果から、同側上顎切歯からの抑制効果

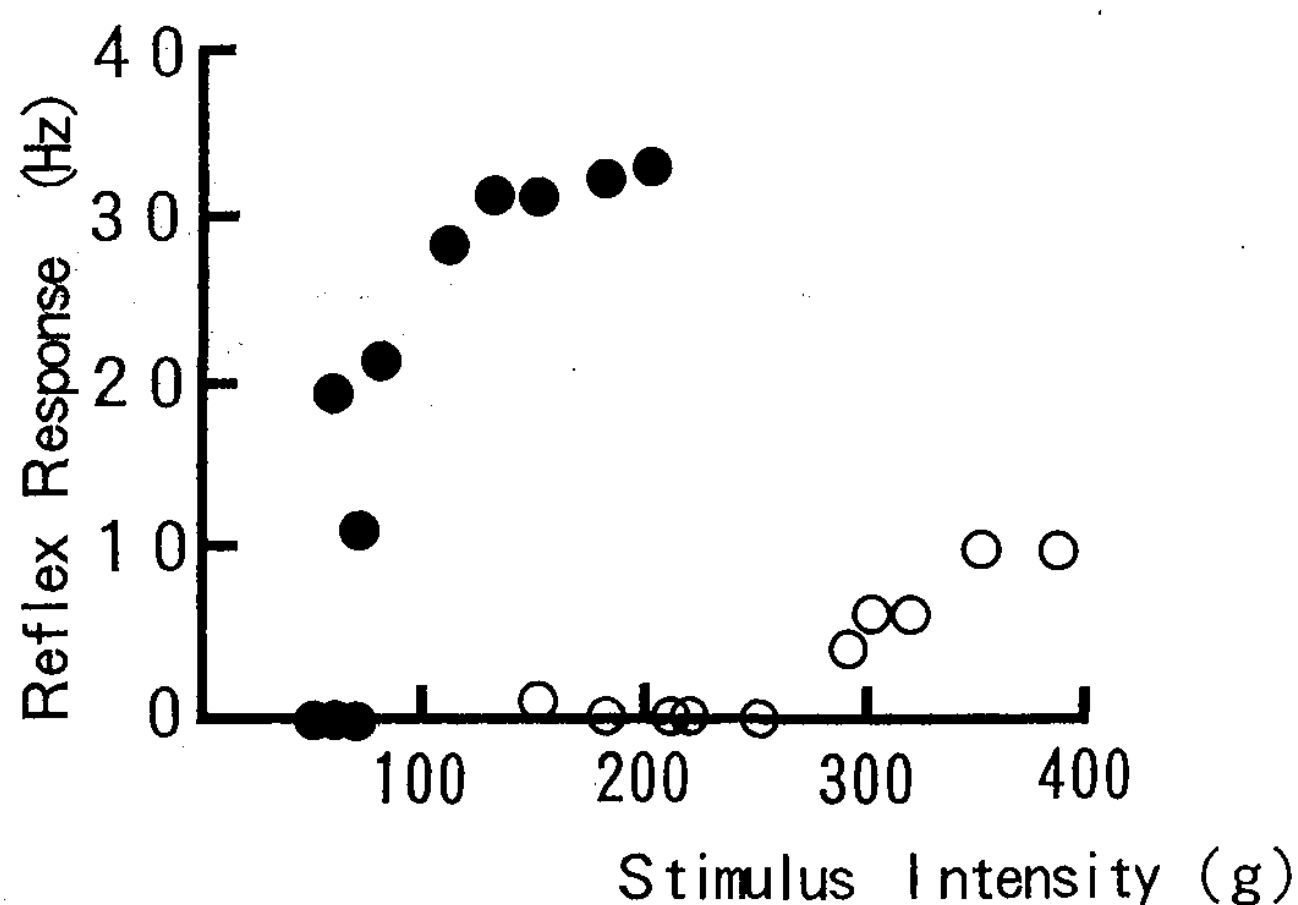


図12 下顎切歯の刺激強度と頬骨下顎筋の反射効果の関係

●：同側下顎切歯単独刺激の効果

○：同側上顎切歯先行刺激時の同側下顎切歯刺激の効果

同側上顎切歯先行刺激時には下顎切歯の興奮反射が生じ難くなっている。

が先行していると、下顎切歯からの興奮効果が出現し難くなるといえる。逆に、あらかじめ下顎からの興奮効果が先行していると、単独では抑制効果だけであった同側上顎刺激で、興奮効果が引き起こされることが明らかになった。したがって、同側上顎と下顎のいずれの入力が先行するかによって、各々の刺激の頬骨下顎筋に対する反射効果が異なることが示された。

考 察

近年、歯根膜から顎運動への反射性制御機構¹⁻²³⁾が解明されてきており、その重要性、合目的性が示されるようになってきた。

下顎側方運動に関する切歯からの反射性調節として、Lund ら¹³⁾は lateral jaw movement reflex (側方顎反射) について報告している。ウサギ片側上顎切歯に刺激を加えると、刺激を加えた切歯と反対側の頬骨下顎筋、側頭筋に興奮反射が生じる。これに対して、同側の同筋群には抑制反射が引き起こされ、下顎は刺激側と反対側に偏位する。

本研究においてもほぼ同様の反射効果が観察されたが、その反射効果は刺激前の運動ユニットの活動状態(BGA)に応じて変化した。BGAに応じた反射効果の変化は、顎口腔系の筋群の反射性制御機構にみられる共通の作動特性であることが解明されてきており^{10, 12, 15-27)}、ウサギ切歯からの反射においても同様の制御機構が存在することが考えられる。

Lund ら¹³⁾の研究は上顎切歯への刺激であったが、咬合時および、咀嚼時には上顎および下顎からの末梢性情報が同時に入力される。そこで、いまだ、明らかにされていない下顎切歯からの反射効果について検討を加えた。さらに同時刺激時の反射効果から上下顎切歯の統合作用による側方運動の反射性制御についても検討を加えた。

I. 上顎切歯と下顎切歯の反射効果の比較

下顎切歯刺激の効果は反対側の頬骨下顎筋に興奮反射を引き起こしやすい点で、上顎切歯からの効果と類似していた。しかし、同側の頬骨下顎筋に対しても、興奮反射を引き起こす点で下顎切歯刺激と上顎切歯刺激の反射効果は大きく異なっていた。

上顎と下顎で異なった反射効果が引き起こされることについて、次のようなことが知られている。

歯から閉口筋への反射においては、田口⁹⁾がラット切歯から咬筋への反射において、興奮反射を誘発する方向と抑制反射を引き起こす方向とが上顎

と下顎の切歯で唇舌的に逆であることを明らかにしている。また、松岸ら²³⁾はヒト上下顎臼歯に側方から力を加え、反対側咬筋への反射効果を調べ、上顎と下顎の舌側からの刺激では異なる反射が誘発されることを報告している。

中枢レベルにおいては、Takata ら²⁸⁾がネコ上顎神経を電気刺激すると、咬筋運動ニューロンに一過性のEPSPに引き続いて、IPSPが生じるが、下顎神経を刺激したときには、IPSPしか出現しないことを明らかにしている。このことは、上顎と下顎からの反射経路に含まれる介在ニューロンが異なることを明確に示している。

本研究も、上顎と下顎からの反射性制御機構に違いがあることを示唆するものの一つであるといえる。

閾値については、玉井²⁹⁾のヒトの感覚閾値に関する研究によって、下顎中切歯は、上顎中切歯に比べ、圧覚閾値が低いことが明らかとなっているが、上下顎からの反射閾値を比較した研究は少ない。本研究において、下顎からの反射閾値が上顎の約1/2であったことは、下顎からの反射性調節が上顎からの調節より出現しやすいことを示している。

II. 上下顎切歯からの反射効果の相互作用

上顎切歯と下顎切歯からの反射効果には差が認められたが、咬合時には上下顎切歯からの末梢性情報が同時に入力される。では、上下顎切歯からの反射効果の相互作用はどのような様になっているのだろうか。

山村ら¹⁷⁾はヒト上下顎切歯で、松岸ら²³⁾は、ヒト上下顎臼歯で、上顎と下顎の歯、それぞれに興奮反射を誘発する刺激を同時に加えると、咬筋に生じる興奮効果が著しく増強されることを報告している。

逆に抑制効果の増強に関してではあるが、Takata ら²⁸⁾は、上顎神経と下顎神経を同時に刺激すると、咬筋運動ニューロンに生じるIPSPが増強されることを明らかにしている。

本研究においても、主として興奮反射を引き起こす反対側の上下顎切歯と下顎切歯に同時に力を加

えると、頬骨下顎筋の反射性筋活動が増強された。

さらに、単独刺激時には抑制反射だけしか生じなかった同側上顎切歯からの効果も、下顎からの入力と同時に存在すると、下顎切歯からの興奮効果を増強することが明らかとなった。この様な、抑制反射を誘発する部位と、興奮反射を生じさせる部位を同時刺激するとより強い興奮反射が引き起こされる現象は、顎顔面領域に限らず特異的なものであるといえよう。

増強効果の生じたことは、同側上顎切歯にも潜在的に興奮反射を引き起こす経路が存在している可能性を示唆している。単独刺激時には、抑制効果が顕著なために、運動ユニットの興奮は生じないが、下顎切歯からの入力により同側上顎切歯からの抑制経路が Masking されると、潜在している同側上顎切歯からの興奮経路が作動するのではないだろうか。その結果、下顎切歯からの効果との相互作用により、頬骨下顎筋の興奮効果が増強される可能性が考えられる。

この様な潜在的興奮効果に関して、Sumino ら³⁰⁾ はネコの下歯槽神経電気刺激を行い、咬筋運動ニューロンに生じる反射応答を調べ、潜在的な興奮反射が、抑制反射の存在によって抑圧されている場合があることを報告している。

また、田口ら⁹⁾ はラット切歯部において、咬筋の BGA に応じて反射効果が変化することを報告し、抑制性経路と興奮性経路が共存し、BGA によりいずれかの効果が出現してくると考察している。

しかし、本研究においては、同側上顎切歯刺激を先行させた時には、単独刺激時と比較して下顎切歯の興奮反射の閾値が高くなることに加え、反射閾値以上の刺激圧のときにもその興奮効果が減弱されるという現象も観察された。

これは、同側上顎切歯の求心性情報により、頬骨下顎筋運動ニューロンに抑制が生じるだけでなく、下顎切歯からの興奮性の反射経路ないしは同側上顎切歯の抑制を Masking する経路に、何らかの抑圧効果を及ぼすためではないかと考えられる。

咬合時を考えると、上顎切歯だけに咬合圧が加

わることは通常ありえない。上下顎ともに咬合圧が加わるのであれば、まず反射閾値の低い下顎切歯からの効果が生じる。ついで上顎からの入力により下顎からの効果が増強される形で、下顎運動が調節されているのであろう。

III. 咀嚼運動への関与

本研究では、ウサギ上下顎切歯刺激の反射効果について明らかにしてきたが、それは咀嚼運動にどのような意味を持つのであろうか。

歯から閉口筋へ興奮反射が生じることが数多く報告されている^{3-10, 12-18, 21-23)}。

田口⁹⁾ は咀嚼時に切歯の咬合力の加わる方向が、咬筋に興奮反射を引き起こす刺激方向と同じであることから、閉口運動のポジティブフィードバックとして働いていると考察している。

下顎前後運動に関しても合目的な調節が存在する。Yamamura ら^{16, 21)} は上顎切歯あるいは臼歯に圧刺激を加え、咬筋と側頭筋の反射応答を比較した。切歯刺激により咬筋に効果的に興奮反射が生じ、臼歯刺激では側頭筋に効果的に興奮反射が誘発されることを報告している。咬筋には下顎を前方に移動させながら、側頭筋には下顎を後方に牽引しながら閉口させる働きがあり、切歯部咀嚼時には下顎を前方に、臼歯部咀嚼時には後方に位置するよう反射性制御が働くと述べている。

同じ様に、咬合する部位に下顎を偏位させる調節機構が臼歯咀嚼時の側方運動に関しても知られている。

五十嵐ら¹⁵⁾ はウサギ上顎臼歯に圧刺激を加えると、下顎を刺激側へ移動させる閉口筋群に興奮反射が生じやすいことを明らかにし、臼歯作業側に下顎が偏位し、咀嚼が円滑に行えるよう歯根膜からの調節が働いていると考察している。

本研究によって、上顎切歯と下顎切歯に同時に咬合圧が加わると、同側の頬骨下顎筋にも強い興奮反射が生じることが明らかとなった。このことから、切歯部にも咬合している歯と同側に下顎を偏位させる筋の活動を活性化する機構が存在すると考えられる。

反射効果からの推測だけでなく、歯から咀嚼運

動への調節機構について実験的に証明した報告もある。

Inoue ら³¹⁾ は、歯根膜からの知覚神経を切断し、歯からの末梢性情報を遮断した状態のウサギ自然咀嚼運動を観察している。正常時の運動と比較して、下顎運動の軌跡が、相対的に縮小されることから、歯からの末梢性入力、下顎の運動を大きくするように働いていると考察している。

ウサギ切歯部での咀嚼時には、下顎運動の側方成分が大きいため、片顎の切歯が対顎の同側切歯だけでなく反対側の切歯とも対咬する。本研究において、頬骨下顎筋には、上下顎切歯の対咬が、いずれの組み合わせの時であっても、単独刺激時と比べ強い興奮反射が頬骨下顎筋に生じることが明らかとなった。

したがって、Inoue ら³¹⁾ の知覚神経切断の効果と考え合わせると、上下顎切歯の統合作用により下顎側方運動が大きくなるようポジティブフィードバック機構が働いていると思われ、以下のように調節されていると考えられる。

頬骨下顎筋は頬骨から横走し、下顎を牽引する閉口筋である。このことから、両側の頬骨下顎筋に興奮が生じれば、下顎を閉口させ、片側が強く興奮すれば、下顎を興奮の生じた筋と同側へ偏位させる働きがある。切歯部での咬合時には、反射閾値の低い下顎切歯からの反射効果が先行することにより、左右頬骨下顎筋にほぼ等しい興奮反射が引き起こされ、閉口運動が生じやすくなる。しかも、左右の筋への効果がほぼ等しいことから下顎の左右への偏位はほとんど生じず、上下顎切歯切縁が正対する形で閉口してくると思われる。さらに、自発運動時において、下顎の側方運動が生じるときにも、上下顎切歯から左右いずれの頬骨下顎筋へも興奮反射が生じることが効果的に働き、さらに閉口しながら、上位中枢性からの興奮側に上下顎切歯からポジティブフィードバックが働き、下顎の側方への運動が大きくなり、食物の咬断能率が高くなると考えられる。さらに、BGAによる調節が加わり、咀嚼運動が円滑に行われていると思われる。

本実験では Lund ら¹³⁾ の上顎切歯からの反射の

報告から考えを進めて、上下顎切歯からの統合作用を検討した。その結果、上下顎切歯から生じる反射性調節は咀嚼運動を円滑にしていると考えられ、自然咀嚼時には、まず加わることのない片側上顎切歯のみへの刺激は逆に防御反射として働いていると思われた。しかし、咀嚼運動への関与についてはまだ不明な点が多く、今後、咀嚼サイクル中における上下顎切歯からの末梢性入力が生じるタイミング、その強さなどについて、さらに研究をすすめる必要がある。

稿を終えるに臨み、終始ご懇篤なるご指導ならびにご校閲を賜った小児歯科学教室、野田忠教授に対し深く謝意を表わします。また、本研究を進めるにあたり、ご援助ならびにご助言を頂いた佐藤清作氏、高橋義弘氏をはじめとする口腔生理学教室の皆様、田口洋講師をはじめとする小児歯科学教室の皆様、さらに市川竜司先生、今井信行先生、星隆夫先生、松岸潔先生に厚く感謝致します。

なお、本研究の要旨は新潟歯学会平成3年度第1回例会(1991年、新潟)、第34回歯科基礎医学会総会(1992年、岡山)において発表した。

文 献

- 1) Sherrington, C. S. : Reflexes elicitable in the cat from pinna, vibbrisse and jaws. *J. Physiol. (Lond.)* **51**: 404-431, 1917.
- 2) Hannam, A. G. and Matthews, B. : Reflex jaw opening in response to stimulation of periodontal mechanoreceptors in the cat. *Arch Oral Biol.* **14**: 415-419, 1969.
- 3) Goldberg, L. J. : Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man. *Brain Res.* **32**: 369-381, 1971.
- 4) Funakoshi, M. and Amano, N. : Periodontal jaw muscles reflexes in the albino rat. *J. Dent. Res.* **53**: 598-605, 1974.
- 5) Klopogge, M. J. G. M. : Reflex control of the jaw muscles by stimuli from

- receptors in the periodontal membrane. J. Oral Rehabil. 2: 259-272, 1975.
- 6) Amano, N. and Funakoshi, M.: Tonic periodontal-masseteric reflex in man. J. Gifu Dent. Soc. 3: 182-183, 1976.
 - 7) 濱口五也: 緊張性歯根膜咬筋反射の筋電図学的研究. 歯基礎誌 20: 134-143, 1978.
 - 8) 井手龍平: ラット歯根膜刺激による咬筋反射パターンの分析. 岐阜学誌 8: 93-107, 1980.
 - 9) 田口 洋: ラット切歯の機械的刺激により誘発される閉口筋の興奮および抑制反射. 歯基礎誌 26: 1228-1244, 1984.
 - 10) 田口 洋, 高橋義弘, 佐藤清作, 島田久八郎: ラット上顎切歯圧刺激による歯根膜顎反射. 歯基礎誌 28: 253-269, 1986.
 - 11) Dessem, D., Iyadurai, O. D. and Taylor, A.: The role of periodontal receptors in the jaw-opening reflex in the cat. J. Physiol. 406: 315-330, 1988.
 - 12) 野内昭宏, 市川竜司, 島田久八郎: ネコ臼歯の咬頭形態と咬筋の反射応答の関連について. 歯基礎誌 34(補冊): 110, 1992.
 - 13) Lund, J. P., McLachlan, R. S. and Dellow, P. G.: A lateral jaw movement reflex. Exp. Neurol. 31: 189-199, 1971.
 - 14) Lavigne, G., Kim, J. S., Valiquette, C. and Lund, J. P.: Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication. J. Neurophysiol. 58: 342-358, 1987.
 - 15) 五十嵐雅子, 島田久八郎: ウサギの下顎側方運動に関与する筋群への臼歯からの反射性制御. 新潟歯学会誌 21: 73-84, 1991.
 - 16) Yamamura, C., and Shimada, K.: Excitatory and inhibitory controls of the masseter and temporal muscles elicited from teeth in the rat. Jpn. J. Physiol. 42: 283-297, 1992.
 - 17) 山村千絵, 島田久八郎, 田口 洋: 歯根膜感覚は咀嚼筋の活動をどのように調節しているか. 歯界展望 別冊 生理的咬合へのアプローチ: 65-80, 1992.
 - 18) 関 康弘, 島田久八郎: 咬筋 γ 運動神経系に対する切歯及び顎関節からの反射性制御. 日矯歯誌 51: 142-152, 1992.
 - 19) 北村昌夫, 島田久八郎, 飯田明彦: ネコ歯根膜機械的刺激による外舌筋の反射性筋活動について. 日矯歯誌 51: 367-380, 1992.
 - 20) 今井信行, 島田久八郎, 大橋 靖: ネコ口蓋粘膜機械的刺激による口蓋帆挙筋の反射性筋活動について. 口科誌 42: 78-90, 1993.
 - 21) Yamamura, C., Kosugi, S., Ono, K. and Shimada, K.: Patterns of jaw reflexes induced by incisal and molar pressure stimulation in relation to background levels of jaw-clenching force in humans. Jpn. J. Physiol. 43: 87-102, 1993.
 - 22) 星 隆夫, 島田久八郎, 花田晃治: 咬筋および側頭筋に対する歯肉圧刺激の効果. 新潟歯学会誌 22: 81, 1992.
 - 23) 松岸 潔, 島田久八郎, 花田晃治: 臼歯に加わる頬舌的な力による咬筋の反射性制御について. 新潟歯学会誌 22: 80, 1992.
 - 24) 斉藤卓麻: ヒト口腔前庭部粘膜の機械的刺激による口腔周囲筋の反射性筋活動について. 日矯歯誌 49: 87-99, 1990.
 - 25) 山崎 稔, 草刈 玄, 島田久八郎: 人工歯根の機械的刺激による閉口筋反射および圧感覚閾値に関する研究. 新潟歯学会誌 21: 55-72, 1991.
 - 26) 飯田明彦, 島田久八郎, 北村昌夫: ネコ硬口蓋の機械的刺激による反射性外舌筋活動について. 口科誌 41: 631-646, 1992.
 - 27) 市川竜司, 野内昭宏, 島田久八郎, 草刈 玄: ネコ骨内インプラントから咬筋への反射性制御. 補綴誌 37: 376-390, 1993.
 - 28) Takata, M. and Kawamura, Y.: Studies on summation of IPSP of masseter motoneuron. J. Osaka Univ. Dent. Sch. 10: 81-97, 1970.

- 29) 玉井久貴：歯牙および義歯床下粘膜の圧感覚に基づく咬合記録に関する臨床的研究. 歯科学報 78: 1751-1781, 1978.
- 30) Sumino, R. : Central neural pathways involved in the jaw-opening reflex in the cat. In: Oral-facial sensory and motor mechanisms (edited by Dubner, R. and Kawamura, Y.), p. 315-331, Appleton-Century-Crofts, New York, 1971.
- 31) Inoue, T., Kato, T., Masuda, Y., Nakamura, Y. and Morimoto, T. : Modifications of masticatory behavior after trigeminal deafferentation in the rabbit. Exp. Brain Res. 74: 579-591, 1989.