The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位に関する研究
Author(s)	冨士, 田聰
Citation	大阪大学, 1983, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/33751
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

原著
（題名）
下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位に関する研究

（著者）
冨士田聰
（所属）
徳島大学歯学部口腔生理学教室
（指導）
高田充教授

（欄外タイトル）
下歯槽神経刺激による舌下神経運動細胞のシナプス電位

別刷150部希望

緒言

舌は内舌筋及び外舌筋より構成され，その形態を複雑に変えることにより，目的に合った巧妙な運動を行なうことができる。舌運動は随意運動であり他の生体運動と同様に上位中枢及び末梢からの入力により制御されている。上位中枢からの入力に関しては，大脳皮質咀嚼野の刺激により咀嚼様顎運動に伴なって，舌なめずり様運動が誘発されることが，ネコ，ウサギを用いた実験により報告されている[1-5]。一方，末梢からの求心性入力に関しては，末梢性入力が舌下神経運動細胞にいかに作用するかについての報告がある[6-18]。殊に三叉神経知覚枝を介する口腔領域からの入力の影響については，舌神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位を指標に解析した Takata 等[19-23]の一連の研究がある。しかしながら，下顎の歯髄，歯肉，歯根膜等からの感覚情報を伝える下歯槽神経からの舌下神経運動細胞への入力の解析はいまだ明らか

にされていない。本研究は，下歯槽神経からの求心性情報による舌運動制御を解明するため，ネコを用い，下歯槽神経から舌下神経運動細胞への入力の解析を，シナプス電位を指標として行なったものである。

実験方法

実験には体重 2.3 ～ 4.2 Kg のネコを用いた。ネンブタール（40 mg/Kg）を腹腔内に投与，麻酔後，気管カニューレにより気道の確保，浅橈骨静脈への血管カニューレにより血管の確保を行なった。

1、下歯槽神経の刺激方法

下顎犬歯部より臼歯部に至る歯頸部歯肉に切開を加え，骨膜粘膜弁として，一塊に骨より剥離し，下顎骨骨面を露出させた。後オトガイ孔を目印にして，それよりやや後方の下顎骨に，下顎管の走行にそって，2 mm 間隔で2ケ所，歯科用電気エンジンを用いて #$\frac{1}{2}$ ラウンドバーで下顎管に達する孔をあけた。骨切削は，発熱を防ぐため，生理的食塩水を

図-1

注水しながら行なった。それぞれの孔にリード線をつけた直径 0.5 mm の銀線電極を挿入し、歯科用即時重合レジンを用いて，固定及び周囲組織との絶縁を行ない，双極性刺激電極とした。刺激には電子管刺激装置（日本光電 SEN 7103）より得られる持続 0.1 msec の矩形波電流を用いた。

2、歯髄の刺激方法

歯髄の刺激には下顎犬歯を用いた。犬歯唇側歯頸部中央及びそれより切端側に 1.5 mm 離れた位置の2ケ所に歯髄腔に近接する孔を，歯科用電気エンジンを用い，#$\frac{1}{2}$ラウンドバーであけた。歯牙切削に際しては，切削部に生理的食塩水の注水を行ない，発熱による歯髄組織の損傷をさけた。歯髄腔への接近は，いわゆるピンクスポットの出現を指標とした。それぞれの孔にリード線をつけた直径 0.3 mm の銀線電極を挿入し，歯科用即時重合レジンを用いて，固定及び周囲組織との絶縁を行ない，双極性刺激電極とした。刺激には持続0.1

msec の矩形波電流を用いた。

3、舌下神経及び舌神経の刺激方法

ネコの舌下神経運動細胞は大別すると，舌つきだし筋を支配する細胞（以下 P-Mn と略記する）と，舌ひっこめ筋を支配する細胞（以下 R-Mn と略記する）に分けられる[18]。末梢においても舌下神経はそれぞれに対応して，舌つきだし筋へ分布する内側枝（以下 Hyp.N.(P) と略記する）と，舌ひっこめ筋へ分布する外側枝（以下 Hyp.N.(R) と略記する）に分枝している[24-26]。逆行性刺激により P-Mn，R-Mn を同定するために，Hyp.N.(P)，Hyp.N.(R) に刺激電極を装着した。又、舌神経の中枢端にも刺激電極を装着した。各刺激電極装着後，周囲組織との絶縁をはかるため電極周囲をワセリンで被った。刺激には持続 0.1 msec の矩形波電流を用いた。

4、下歯槽神経刺激により誘発される電位

下歯槽神経の刺激条件を決めるために，予備実験として，下歯槽神経刺激により誘発さ

れる電位を同側三叉神経節で記録した。脳定位固定装置（成茂科学 SN-2 型）に頭部を固定したネコの側頭部骨質を破骨鉗子を用いて除去後、三叉神経節上を被う脳組織を真空ポンプを用いて吸引除去し、露出した三叉神経節上に直径 1 mm の銀球電極を置いた。誘発電位は、この電極と側頭筋上に置いた不関電極との間で導出し、前置増幅器を介してブラウン管オシロスコープ（日本光電 VC-9）上に表示させ、連続撮影装置（日本光電 RLG-6101）を用いてレントゲンフィルム上に記録した。

結果を図2に示す。下歯槽神経刺激により同側三叉神経節で、陽性－陰性－陽性の3相性の活動電位が記録された（図2-A）。下歯槽神経刺激強度を増すに従って、誘発される電位の大きさも増大し、この例の場合約9 V の刺激で誘発電位の大きさは最大値に達し、それ以上刺激の大きさを増しても電位の大きさは増大しなかった。この結果を図2-B のグラフに示す。

図2

5、細胞内電位の記録方法

ネコを脳定位固定装置に固定し，ガラミンの静脈内投与により非働化し，人工呼吸を行ないながら細胞内記録を行なった。後頭部骨質を破骨鉗子を用いて除去後，小脳の尾側部を真空ポンプで吸引除去し，第4脳室底を露出させ，直視下で刺激電極装着側と同側の舌下神経核へ記録電極を刺入した。人工呼吸に伴なう動物の体動を防ぐために両側性に開胸を行なった。細胞内電位の導出及び細胞内通電には，2 M K-citrate を封入した先端抵抗20 MΩ前後のガラス管微小電極を用い，実験条件によっては3 M KCl 封入微小電極を用いた。細胞内電位は，微小電極と側頭筋内に刺入した不関電極との間で導出し，通電型微小電極用増幅器（日本光電 MEZ-8201）を介してブラウン管オシロスコープ上に表示させ，連続撮影装置を用いてレントゲンフィルム上に記録した。

実験結果

1、下歯槽神経刺激により舌つきだし運動細胞（P-Mn）に誘発されるシナプス電位

下歯槽神経と舌下神経運動細胞とのシナプス結合様式を検討するために，下歯槽神経刺激により P-Mn に誘発されるシナプス電位を記録した。P-Mn は Hyp.N.(P) 刺激により逆行性スパイクが誘発されることにより確認した。なお、逆行性スパイクの振巾が 60 ～ 70 mV で記録されたニューロンにおいて，そのシナプス結合様式を調べた。下歯槽神経刺激により P-Mn に誘発されるシナプス電位は図３の A，B，C に示すように，３つのタイプに分類することができた。 図-3

1) EPSP-IPSP 型ニューロン（図３-A）

このタイプの P-Mn では，下歯槽神経刺激により脱分極性電位，それに続く過分極性電位からなるシナプス電位が誘発された。刺激の強度を増すと，脱分極性電位の頂点から順行性スパイクの発射（A-3）がみられることより，この脱分極性電位は興奮性シナプス後電位

(EPSP)であると考えられる。

2) IPSP型ニューロン(図3-B)

このタイプのP-Mnでは，下歯槽神経刺激により，過分極性電位のみからなるシナプス電位が誘発された(B-2)。自発発射しているニューロンにおいては、この過分極性電位により自発発射が抑制されること(B-b)，後述するように，過分極通電により脱分極性電位に逆転すること，Cl^-イオン注入により，脱分極性電位に移行することよりこの過分極性電位は抑制性シナプス後電位(IPSP)であると考えられる。

3) EPSP型ニューロン(図3-C)

このタイプのP-Mnでは，下歯槽神経刺激により脱分極性電位のみからなるシナプス電位が誘発された(C-2)。刺激の強度を増すと脱分極性電位の頂点からスパイクが発射することより，この脱分極性電位はEPSPであると考えられる(C-3)。C-4に示すごとくC-3の記録をオシロスコープの掃引速度を速くして記

録し，脱分極性電位の潜時を 3.5 msec と計測した。

2. 下歯槽神経刺激により舌ひっこめ運動細胞（R-Mn）に誘発されるシナプス電位

下歯槽神経と R-Mn とのシナプス結合様式を検討するために，下歯槽神経刺激により R-Mn に誘発されるシナプス電位を記録した。R-Mn は Hyp.N.(R) 刺激により逆行性スパイクが誘発されることにより確認した。P-Mn の場合と同様に，逆行性スパイクの振巾が 60 ～ 70 mV で記録されたニューロンにおいてそのシナプス結合様式を調べた。R-Mn においても，P-Mn と同様に，下歯槽神経刺激により誘発されるシナプス電位は下記に示すごとく3つのタイプに分類できた。 図-4

1) EPSP-IPSP 型ニューロン（図4-A）

脱分極性電位及びそれに続く過分極性電位からなるシナプス電位が誘発される EPSP-IPSP 型ニューロン。

2) IPSP 型ニューロン（図4-B）

過分極性電位のみからなるシナプス電位が誘発されるIPSP型ニューロン。

3) EPSP型ニューロン（図4-C）

脱分極性電位のみからなるシナプス電位が誘発されるEPSP型ニューロン。

本実験により，下歯槽神経刺激によりP-Mn，R-Mnに誘発されるシナプス電位は，EPSP-IPSP型，IPSP型，EPSP型の3つに分類することができた。表1に示すように，下歯槽神経刺激に対しIPSPのみで応答するニューロンが最も多く，記録した舌下神経運動細胞149個中73個（49.0％）にみられ，その平均潜時は4.5 msecであった。次に多くみられたのがEPSP-IPSPで応答するニューロンで62個（41.6％），その平均潜時は3.5 msecであった。最も少なかったのがEPSPで応答するニューロンで14個（9.4％），その平均潜時は3.4 msecであった。

表1

3. 刺激強度とシナプス電位の関係

下歯槽神経刺激強度と誘発されるシナプス電位の関係について検討した。P-Mnで得られ

た結果を図5に示す。各記録中の数値は，下歯槽神経に与えた刺激の大きさを閾値（Th）の倍数で示したものである。

図5-Aに示すのは，下歯槽神経刺激に対し EPSP-IPSP で応答する P-Mn で得られた結果である。下歯槽神経刺激強度が 2.0×Th 刺激では脱分極性電位はあまり明瞭でなく，刺激強度を増すに従って明瞭な脱分極性電位が記録できた。一方，過分極性電位は脱分極性電位に比してその閾値が低く，3.0×Th の刺激でその振巾が最大となり，それより刺激強度を増してもその振巾には明瞭な変化は認められなかった。

図5-Bに示すのは，IPSP のみで応答する P-Mn で記録した結果である。このニューロンでは，刺激強度の増大に従って過分極性電位の振巾も増大し，7.8×Th 刺激で電位の振巾は最大値に達し，以後刺激強度を増しても振巾の大きさ，パターン共に変化が認められなかった。

図-5

図5-cに示すのは，EPSPのみで応答するP-Mnで記録した結果である。このニューロンでは、刺激強度を増すに従って誘発される脱分極性電位の振巾も大きくなり，10.6×Thの刺激強度で下歯槽神経を刺激すると，脱分極性電位の頂点からスパイクが発射した。

このように，下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位は，刺激強度によりその大きさは変化するが，EPSP-IPSP，IPSP，EPSPという3種類の基本的パターンは刺激強度による影響を受けなかった。又、EPSP-IPSPで応答するP-Mnにおいては，脱分極性電位の誘発には過分極性電位の誘発に比して，より大きな刺激強度を必要とすることが明らかになった。

4、歯髄刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位

下歯槽神経の枝である下顎犬歯歯髄神経の刺激によってP-Mnに誘発されるシナプス電位について検討した。歯髄刺激により誘発され

るシナプス電位も3つのパターンに分類できた。

1)図6-Aに示すように下歯槽神経刺激により図-6 IPSPの誘発されるニューロン(A-2)では，歯髄刺激によってもIPSPが記録された(A-3)。

2)図6-Bに示すように下歯槽神経刺激によりEPSP-IPSPの誘発されるニューロン(B-2)においては，歯髄刺激によりB-3に示すように，下歯槽神経刺激と同様に，EPSP-IPSPが誘発された。

3)図6-Cに示すように下歯槽神経刺激によりEPSPの誘発されるニューロン(C-2)においては，歯髄刺激によりC-3に示すようにEPSPが誘発された。

歯髄刺激により誘発されるシナプス電位は，下歯槽神経刺激により誘発されるシナプス電位に比べて，その閾値は約10倍程度高く，潜時は1.0～2.5 msec長く，最大刺激により誘発される電位の大きさは，下歯槽神経の最大刺激により誘発されるシナプス電位の大きさの

約$\frac{1}{2}$であった。

5、 IPSP に対する過分極通電の効果

下歯槽神経刺激により P-Mn に誘発される IPSP と，膜電位との関係について検討した。細胞に刺入した記録電極により，過分極通電を行ない，膜電位を変化させた。結果の2例を図7に示す。記録の左端に付した数字は，通電量をnA単位で示したものである。図7-A 図7に示す P-Mn では，-4 nA の通電で電位の極性が逆転した。更に，-6 nA，-8 nA と通電量を増すに従って，脱分極性に逆転した電位の大きさの増大が認められた。図7-B に示す P-Mn でも，A に示したニューロンとほぼ同様の結果が得られた。結果を図7-C にグラフで示す。黒丸で示したのが7-A の P-Mn での結果，黒三角で示したのが7-B の P-Mn での結果である。約4 nA の過分極通電で過分極性電位の振巾が0となることが明らかになった。このことより，下歯槽神経刺激により P-Mn に誘発される過分極性電位は，抑制性シナプス後電位（IPSP）

であると結論された。

6、Cl^-イオンの効果

3 M KCl 封入微小電極を用いて，細胞内にCl^-イオンを注入すると，下歯槽神経，舌神経，歯髄刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPはいずれもその極性が逆転し，脱分極性電位となった。電極刺入後，時間の経過と共にIPSPの電位は減少し，刺入後約1分で電位の逆転がみられ，逆転した電位は次第にその大きさを増し，約5分で最大値に達した。図8-bに示したのは，3 M KCl 封入微小電極刺入直後にP-Mnで記録した，舌神経刺激(b-1)，下歯槽神経刺激(b-2)，下顎犬歯歯髄刺激(b-3)によるIPSPである。cに示したのは，電極刺入3分後に記録した，舌神経刺激(c-1)，下歯槽神経刺激(c-2)，歯髄刺激(c-3)による電位で，いずれもその極性が逆転し，脱分極性電位が記録された。dに示したのは，電極刺入5分後に記録した電位で，逆転した脱分極性電位は最大値を示した。

図-8

過分極性電位よりの脱分極性電位への逆転は，電極中に含まれているCl⁻イオンが細胞内へ移動したために細胞中のCl⁻イオン濃度が上昇した結果生じた現象であると考えられ，このことより，舌神経，下歯槽神経，歯髄の各々の刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPはCl⁻イオンの膜透過性の変化に起因する電位であると考えられる[29]。

7．下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位と，舌神経刺激により誘発されるシナプス電位の比較

下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位と，舌神経刺激により誘発されるシナプス電位の比較を行なった。

図9-Aに示すように，下歯槽神経刺激により EPSP-IPSP 型のシナプス電位が誘発される細胞（A-2）においては，A-3 に示すように舌神経刺激によりほぼ同一の潜時とパターンを持つ，脱分極性－過分極性の電位が記録された

図-9

図9-Bに示すように，下歯槽神経刺激によりIPSP型のシナプス電位が誘発される細胞（B-2）においては，B-3に示すように，舌神経刺激によりほぼ同一の潜時とパターンを持つ過分極性電位が記録された。

図9-Cに示すように，下歯槽神経刺激によりEPSP型のシナプス電位が誘発される細胞（C-2）においては，C-3に示すように，脱分極性－過分極性電位が誘発され，脱分極性電位のみからなるシナプス電位は記録できなかった。

このように，下歯槽神経と舌神経の舌下神経運動細胞へのシナプス結合様式は，下歯槽神経刺激によりEPSP，舌神経刺激によりEPSP-IPSPが誘発される場合を除いては，同一のパターンを示すことが明らかになった。

次に，P-Mnにおいて，下歯槽神経刺激により誘発されるIPSPと，舌神経刺激により誘発されるIPSPの間に閉塞現象（occlusion）がみられ

るか否かを検討した。図10に示すように，下 図-10
歯槽神経の最大刺激により誘発されるIPSPの振巾は約6mVであった(b-1)。一方，舌神経の最大刺激により誘発されるIPSPの振巾は約8mVであった(b-2)。次に，下歯槽神経，舌神経を同時に最大刺激した時に誘発されるIPSPの電位の振巾は約12mVであった(b-3)。この電位の大きさは，下歯槽神経，舌神経を各々単独で最大刺激して得られた電位を加算した振巾14mVよりも小さい，即ち，下歯槽神経刺激により P-Mn に誘発されるIPSPと，舌神経刺激により誘発されるIPSPの間には閉塞現象が成立することが明らかになった。この事は，下歯槽神経から舌下神経運動細胞へ至る抑制性神経路と，舌神経から舌下神経運動細胞へ至る抑制性神経路には両者に共通する介在神経細胞が存在することを示唆している。

なお，舌下神経運動核の腹側で，舌下神経刺激に対し逆行性応答を示さず，下歯槽神経，舌神経の単発刺激に対し高頻度スパイク発

射で応答する細胞が記録できた。このような細胞の細胞内記録を図11に示す。このニューロンは，下歯槽神経刺激に対し1に示すような，舌神経刺激に対し2に示すようなEPSPとそれに重畳する頻回スパイク発射で応答した。 図11

考察

西洋ワサビ酸化酵素（HRP）の逆行性軸索輸送を利用した実験により，植村[26]は，ネコの舌下神経の内側枝を切断してHRPを注入すると，舌下神経核の背外側域の細胞が標識され，外側枝を切断してHRPを注入すると，舌下神経核の腹内側域の細胞が標識されたと報告している。今回の実験においても，舌下神経外側枝刺激に対し逆行性に応答する細胞は，舌下神経核背側で記録され，内側枝の刺激に対し逆行性に応答する細胞は，舌下神経核腹側で記録できた。

舌下神経運動細胞の逆行性スパイク電位は，スパイクの下降期にdelayed depolarizationが記録

されるニューロンと，記録されないニューロンに大別されるが，森本[10]の報告しているように，このようなスパイク電位の形の相違は，P-Mn，R-Mn の区別なくみられた。

舌下神経運動細胞のシナプス電位に関しては多くの報告がある。Porter[9]は舌神経刺激により舌下神経運動細胞に EPSP-IPSP が誘発されることを報告し，Sumi[12]は上喉頭神経の刺激により EPSP，IPSP，EPSP-IPSP が誘発されると報告している。森本[10]は舌神経刺激により P-Mn には IPSP が，R-Mn には EPSP-IPSP，もしくは，EPSP が誘発されると報告している。Takata 等[18]は開口筋中に分布する求心性神経線維の刺激により P-Mn，R-Mn には共に IPSP が誘発されることを報告し，Morimoto 等[15]は咬筋神経刺激により P-Mn，R-Mn には共に IPSP が誘発されることを報告している。更に，Takata[23]は 450 個の舌下神経運動細胞の細胞内記録により，舌神経刺激により P-Mn には IPSP，IPSP-IPSP，EPSP-IPSP が，R-Mn には EPSP，EPSP-IPSP が誘発されると報告して

いる。今回の実験では，下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位は，P-Mn，R-Mn 共に IPSP，EPSP-IPSP，EPSP の3種類であった。一方，舌神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位は IPSP，EPSP-IPSP の2種類であり，EPSP のみの場合はみられなかった。更に，下歯槽神経，舌神経の舌下神経運動細胞とのシナプス結合様式は，下歯槽神経刺激により EPSP，舌神経刺激により EPSP-IPSP が誘発されるニューロンを除いては同一であった。

森本[10]は舌神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発される IPSP の潜時は約 4 msec であり，舌神経刺激により三叉神経知覚核で記録される誘発電位の反応潜時は約 2 msec であることより，舌神経刺激により舌下神経運動細胞に IPSP を誘発させる神経路は trisynaptic pathway であると推察している。一方，Porter[9]は舌神経刺激により舌下神経運動細胞に EPSP-IPSP を誘発させる神経路は disynaptic pathway であると報告してい

る。今回の実験では，下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位の平均潜時は，IPSP の場合 4.5 msec，EPSP-IPSP の場合 3.5 msec，EPSP の場合 3.4 msec であった。これより，下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に IPSP を誘発させる神経路は trisynaptic pathway，EPSP を誘発させる神経路は disynaptic pathway であると考えられる。

Takata 等[21-23]は舌神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発される IPSP は，ストリキニンの投与により選択的に抑制され，膜の過分極通電，Cl^- イオンの細胞内注入によって脱分極性電位に逆転する short-lasting IPSP と，ピクロトキシンの投与により選択的に抑制され，膜の過分極通電，Cl^- イオンの細胞内注入によって脱分極性電位に逆転しない long-lasting IPSP の2つの成分からなることを報告している。今回の実験においては，下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発される IPSP は膜の過分極通電，Cl^- イオンの細胞内注入によって脱分

極性電位に逆転したが，このIPSPもshort-lasting IPSP，long-lasting IPSPの2つの成分からなるか否かは今後の検討に委ねたい。

下歯槽神経刺激によりEPSP-IPSPで応答するP-Mnで，シナプス電位を誘発する刺激の閾値を調べた結果，EPSPはIPSPに比してより高い閾値の刺激により誘発されることがわかった。この事より，EPSPを誘発させる神経線維はIPSPを誘発させる神経線維よりも細い神経線維であると考えられる。

Brookhart等[27]はネコの歯髄に分布する神経は主にAδに属する神経線維から構成されることを報告している。今回の実験で，歯髄刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPの潜時の最も短いものは約5.5 msecであった。歯髄刺激部位より舌下神経核の記録部位までの距離の実測値は約10 cmであった。IPSPを誘発させる神経路をtrisynaptic pathwayと考え，シナプス遅延時間を0.3 msecとして，歯髄に分布する神経線維の伝導速度を計算すると約21.7 m/secとい

う値が得られ，この伝導速度はAδ線維の伝導速度の上限付近に位置している。

実験結果に示したように，下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPと，舌神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPの間には閉塞現象がみられた。又，両者の間には促通現象もみられ，これより，下歯槽神経から舌下神経運動細胞へ至る神経路と，舌神経から舌下神経運動細胞へ至る神経路には両者に共通の介在神経細胞が存在することが示された。

末梢から舌下神経運動細胞へ至る神経路中の介在神経細胞については次のような報告がある。Porter[9]は三叉神経脊髄路核中，或いはその近傍で，舌神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるEPSPに関与すると考えられる介在神経細胞を記録している。一方，Sumino等[28]は，舌下神経核の腹側で，舌下神経の刺激に対し逆行性応答を示さず，咬筋神経，下歯槽神経，舌下神経の刺激に対し頻回スパイク発

射で応答する細胞を記録し，これ等の神経の刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPに関与する抑制性介在神経細胞ではないかと推定している。今回の実験で，舌下神経運動核の腹側で記録された，下歯槽神経，舌神経の刺激により頻回スパイク発射で応答する細胞は，Sumino等の指摘する介在神経細胞に相当するニューロンと考えられる。

結論

ネコの舌下神経運動細胞の細胞内電位の解析から以下のことが明らかになった。

1) 下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位はIPSP，EPSP-IPSP，EPSPの3種類に分類できた。各々の出現頻度は，IPSP 49.0%，EPSP-IPSP 41.6%，EPSP 9.4%であった。

2) 下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞にIPSPを誘発させる神経路はtrisynaptic pathway，EPSPを誘発させる神経路はdisynaptic pathwayであると考えられる。

3) 下顎犬歯歯髄刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるシナプス電位は，下歯槽神経刺激により誘発されるシナプス電位に比し，その閾値は約10倍高く，潜時は1.0～2.5 msec長く，最大刺激により誘発される電位の大きさは約$\frac{1}{2}$であった。

4) 同一の舌下神経運動細胞について，下歯槽神経と，舌神経の舌下神経運動細胞とのシナプス結合様式には著明な差異は認められなかった。

5) 下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPは膜の過分極通電，Cl^-イオンの細胞内注入により脱分極性電位に逆転した。

6) 下歯槽神経，舌神経から舌下神経運動細胞へ至る神経路中には両者に共通の介在神経細胞が存在し，舌下神経核の腹側で，下歯槽神経，舌神経刺激により高頻度放電する介在神経細胞が記録された。

コクヨ ケ-35 20×20

謝辞

稿を終るに臨み，終始御懇篤なる御指導と，御校閲を賜った高田充教授に対し衷心より感謝いたします。又，御鞭撻を賜った恩師大阪大学歯学部河村洋二郎教授に深く感謝いたします。本研究の期間を通じ種々御協力いただいた本教室の金森憲雄助教授，長濱辰文助手に御礼申し上げます。

本研究の経費は文部省科学研究費（奨励研究A No. 577727，No.57771193）による補助によった。

本論文の要旨は，第23回，第24回，歯科基礎医学会総会（昭和56年郡山，昭和57年横浜）においてそれぞれ発表した。

抄録

ネンブタール麻酔のネコを用い，下歯槽神経と舌下神経運動細胞とのシナプス結合様式を，細胞内記録法を用いて解析した。下歯槽神経刺激により誘発されるシナプス電位のパターンから，舌下神経運動細胞は，IPSP型，EPSP-IPSP型，EPSP型の3種類に分類できた。細胞内記録を行なった149個の舌下神経運動細胞中，IPSP型は73個（49.0%），EPSP-IPSP型は62個（41.6%），EPSP型は14個（9.4%）であった。各々の平均潜時はIPSP 4.5 msec，EPSP-IPSP 3.5 msec，EPSP 3.4 msecであった。潜時より，下歯槽神経から舌下神経運動細胞へ至る抑制性神経路はtrisynaptic pathway，興奮性神経路はdisynaptic pathwayであると考えられる。下歯槽神経刺激により舌下神経運動細胞に誘発されるIPSPは膜の過分極通電，Cl^-イオンの細胞内注入によりその極性が逆転し脱分極性電位となった。同一の舌下神経運動細胞について舌神経と舌下神経運動細胞との

シナプス結合様式と，下歯槽神経と舌下神経運動細胞とのシナプス結合様式の間には著明な差異は認められなかった。

文献

1) Kawamura, Y. and Tsukamoto, S. : Analysis of jaw movements from the cortical jaw motor area and amygdala. Jap. J. Physiol., 10:471-488, 1960.

2) Sumi,T. : Some properties of cortically evoked swallowing and chewing in rabbits. Brain Res., 15:97-106, 1969.

3) Sumi, T. : Activity in single hypoglossal fibers during cortically induced swallowing and chewing in rabbits. Pfluger Arch. Physiol., 314:329-346, 1970.

4) Sumi, T. : Modification of cortically evoked rhythmic chewing and swallowing from midbrain and pons. Jap. J. Physiol., 21: 489-506, 1971.

5) Morimoto, T. and Kawamura, Y. : Properties of tongue and jaw movements elicited by stimulation of the orbital gyrus in the cat. Arch. Oral Biol., 18:361-372, 1973.

6) Blom, S. : Afferent influences on tongue muscle activity. Acta Physiol. Scand., 49,suppl:170, 1960.

7) Green, J. D. and Negishi, K. : Membrane potentials in hypoglossal motoneurons. J. Neurophysiol., 26:835-856, 1963.

8) Porter, R. : Synaptic potentials in hypoglossal motoneurons. J. Physiol. (London), 180:209-224, 1965.

9) Porter, R. : The synaptic basis of a bilateral lingual-hypoglossal reflex in cats. J. Physiol. (London), 190:611-627, 1967.

10) 森本俊文：舌下神経核細胞活動の調整に関与する反射機構，日本生理学雑誌，30巻：376-386，1968.

11) Morimoto, T., Takata, M. and Kawamura, Y. : Effect of lingual nerve stimulation on hypoglossal motoneurons. Exp. Neurol., 22:174-190, 1968.

12) Sumi, T. : Synaptic potentials of hypoglossal motoneurons and their relation to reflex deglution. Jap. J. Physiol., 19:68-79, 1969.

13) Sumi, T. : Changes of hypoglossal nerve activity during inhibition of chewing and swallowing by lingual nerve stimulation. Pfluger Arch. Physiol., 317:303-309, 1970.

14) 森本俊文, 河村洋二郎：舌下神経刺激による舌下神経運動細胞の抑制. 日本生理学雑誌, 34巻：939-945, 1972.

15) Morimoto, T., Takata, M. and Kawamura, Y. : Inhibition of hypoglossal motoneurons by a masseteric nerve volley. Brain Res., 43:285-288, 1972.

16) Schmitt, A., Yu, S. K. J. and Sessle, B. J. : Excitatory and inhibitory influences from laryngeal and orofacial areas on tongue position in the cat. Arch. Oral Biol., 18:1121-1130, 1973.

17) Kawamura, Y. and Morimoto, T. : Neurophysiological mechanisms related to reflex control of tongue movements. In: Oral sensation and Perseption, ed. Bosma, T. F., pp.206-217. Betheda, Med., 1973.

18) Takata, M., Ito, K. and Kawamura, Y. : Inhibition of hypoglossal motoneurons by stimulation of the jaw-opening muscle afferents. Jap. J. Physiol., 25:453-465, 1975.

19) Takata, M. : Lingually induced postsynaptic potentials of the hypoglossal motoneurons. J. Dent. Res., 58: 2279, 1979.

20) Takata, M., Fujita, S. and Shohara, E. : Postsynaptic potentials in the hypoglossal motoneurons set up by hypoglossal nerve stimulation. Jap. J. Physiol., 29:49-60, 1979.

21) Takata, M. and Ogata, K. : Two components of inhibitory post-synaptic potentials evoked in hypoglossal motoneurons by lingual nerve stimulation. Exp. Neurol., 69:299-310, 1980.

22) Takata, M. : Inhibitory postsynaptic potentials evoked in hypoglossal motoneurons by lingual nerve stimulation. Exp. Neurol., 75:103-111, 1982.

23) Takata, M. : Synaptic linkage of lingual nerve afferents to hypoglossal motoneurons. In : Oral facial sensory and motor functions, ed. Kawamura, Y. and Dubner, R., pp.25-36. Quintessence Pub. Co., Tokyo, 1981.

24) Lewis, P. R., Flumerfelt, B. A. and Schute, C. C. D. : The use of cholinesterase techniques to study topographical location in the hypoglossal nucleus of the rat. J. Anat., 110: 203-213, 1971.

25) Kranmer, E. B., Rath, T. and Lischka, M. F. : Somatotopic organization of the hypoglossal nucleus: a HRP study in the rat. Brain Res., 170:533-537, 1979.

26) 植村正憲：舌筋支配運動神経細胞の局在配列，HRP法による研究，広島大学歯学雑誌，12巻：92-117，1980.

27) Brookhart, J. M., Livingston, W. K. and Haugen, F. P. : Functional characteristics of afferent fibers from the tooth pulp of cat. J. Neurophysiol., 16:634-642, 1953.

28) Sumino, R. and Nakamura, Y. : Identification and location of inhibitory interneurons which synapse on hypoglossal motoneurons. Physiologist, 15:279, 1972.

29) Araki, T., Ito, M. and Oscarsson, O. : Anion permeability of the synaptic and non synaptic motoneuron membrane. J. Physiol. (London), 159:410-435, 1961.

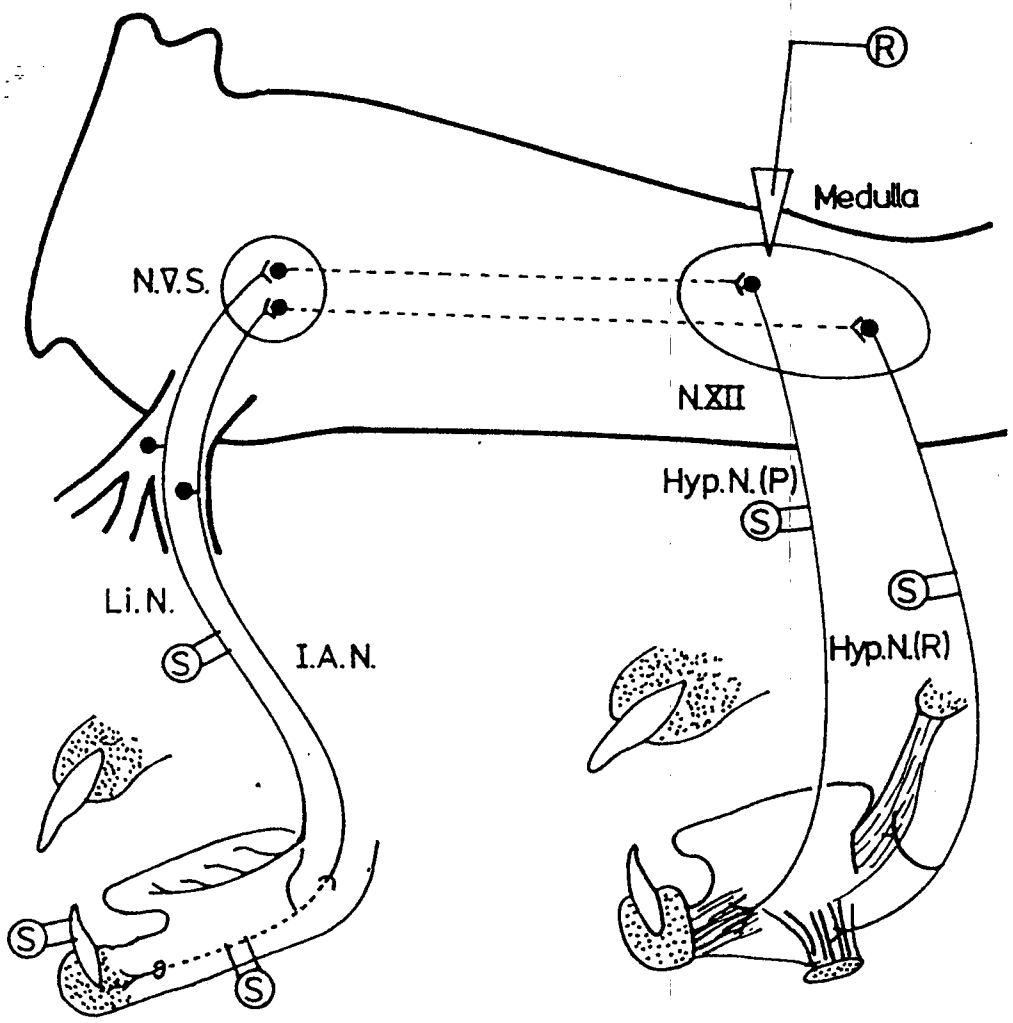

Fig.1

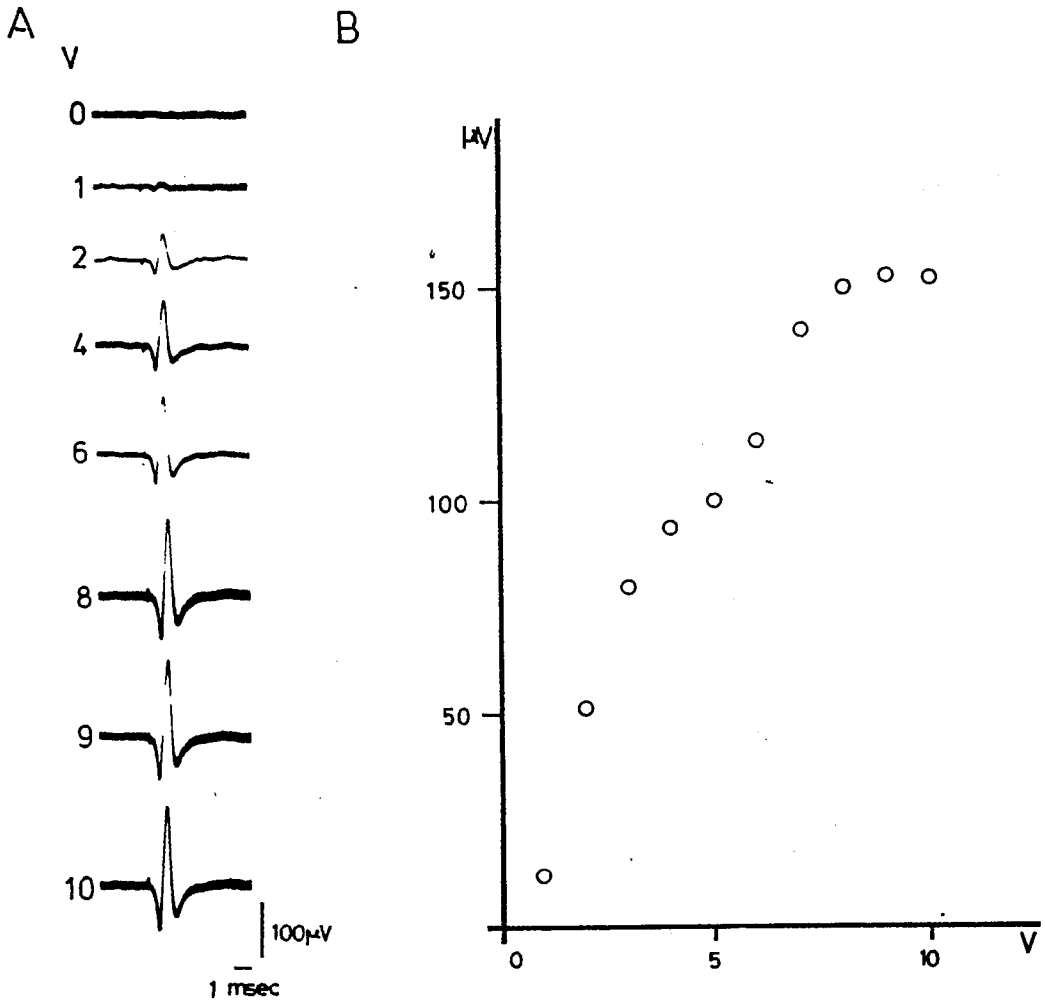

Fig.2

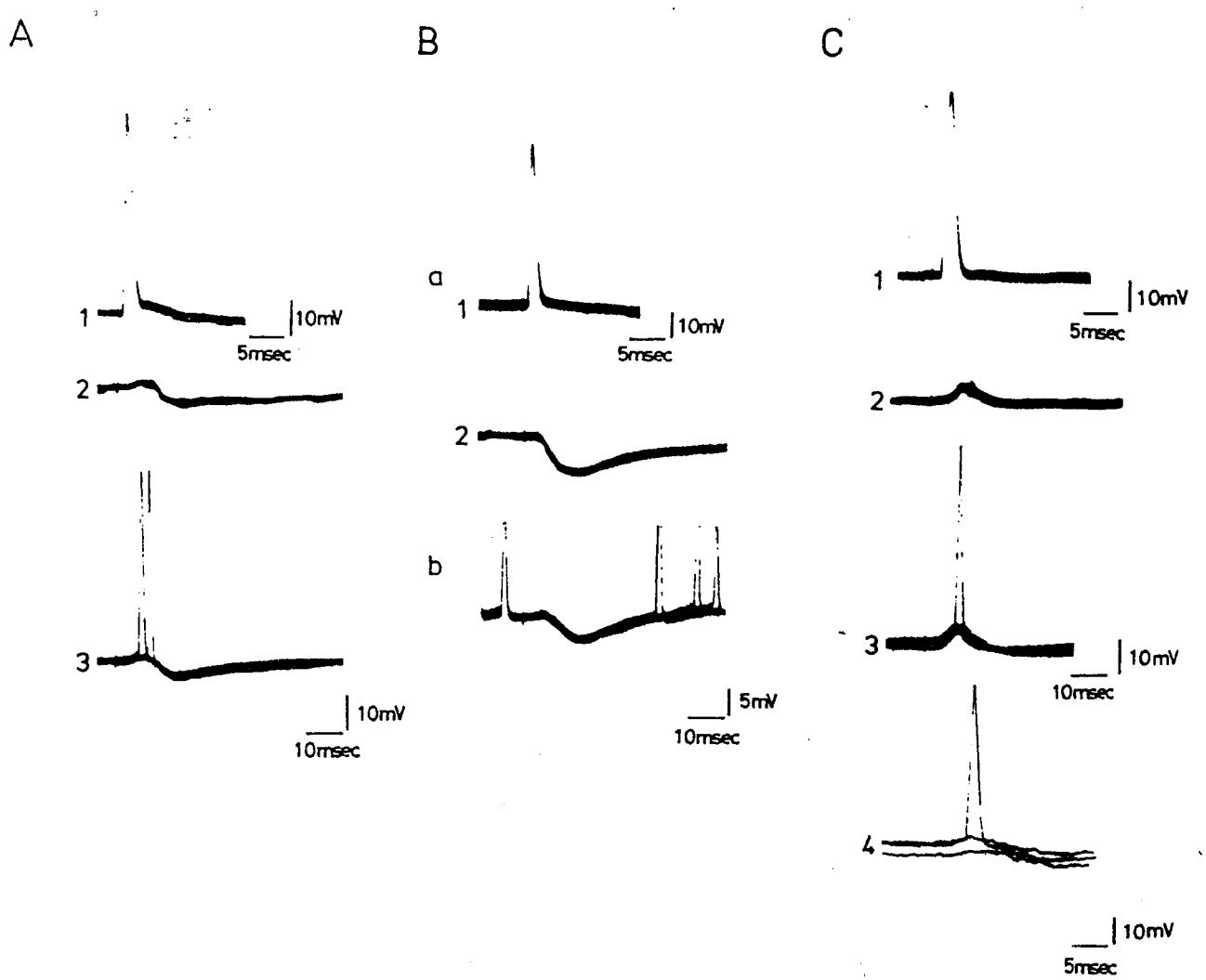

Fig.3

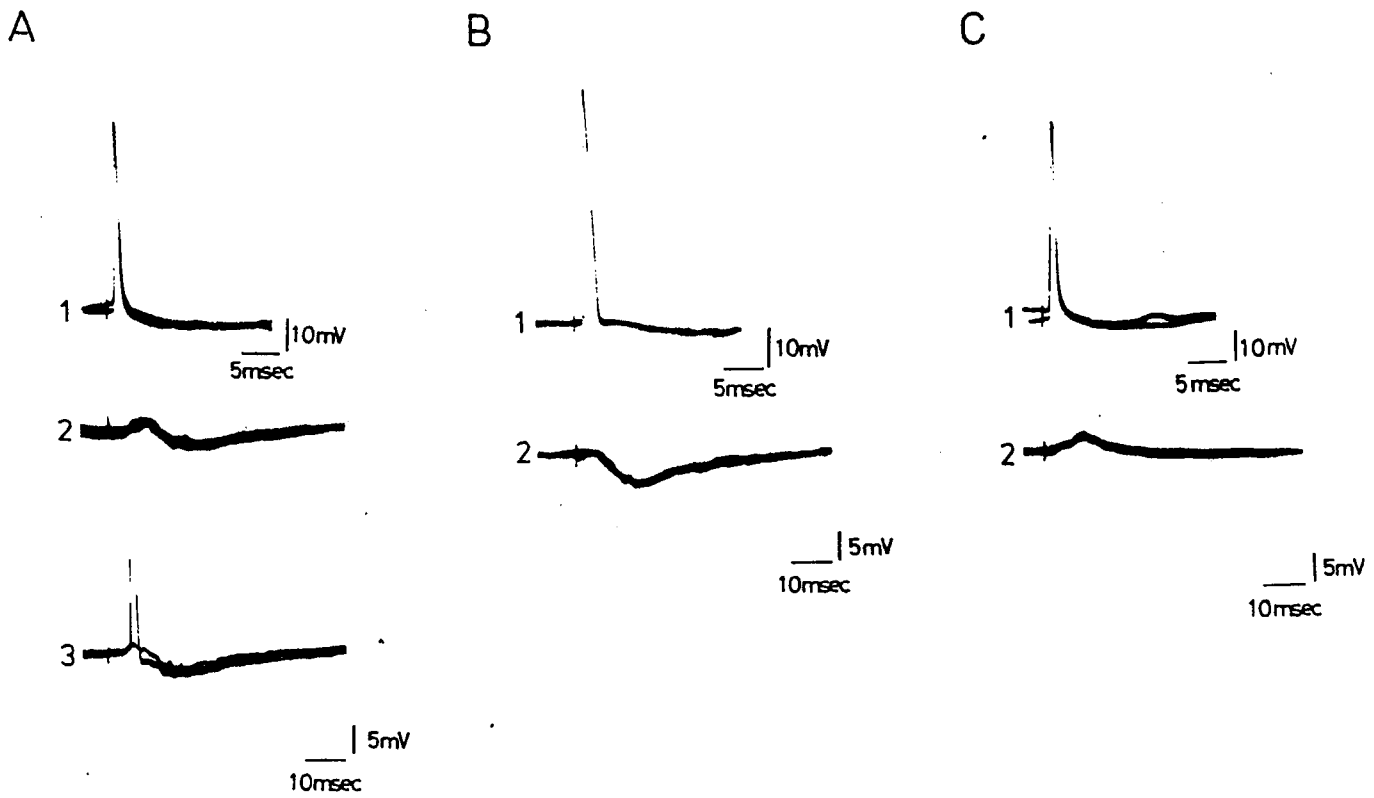

Fig.4

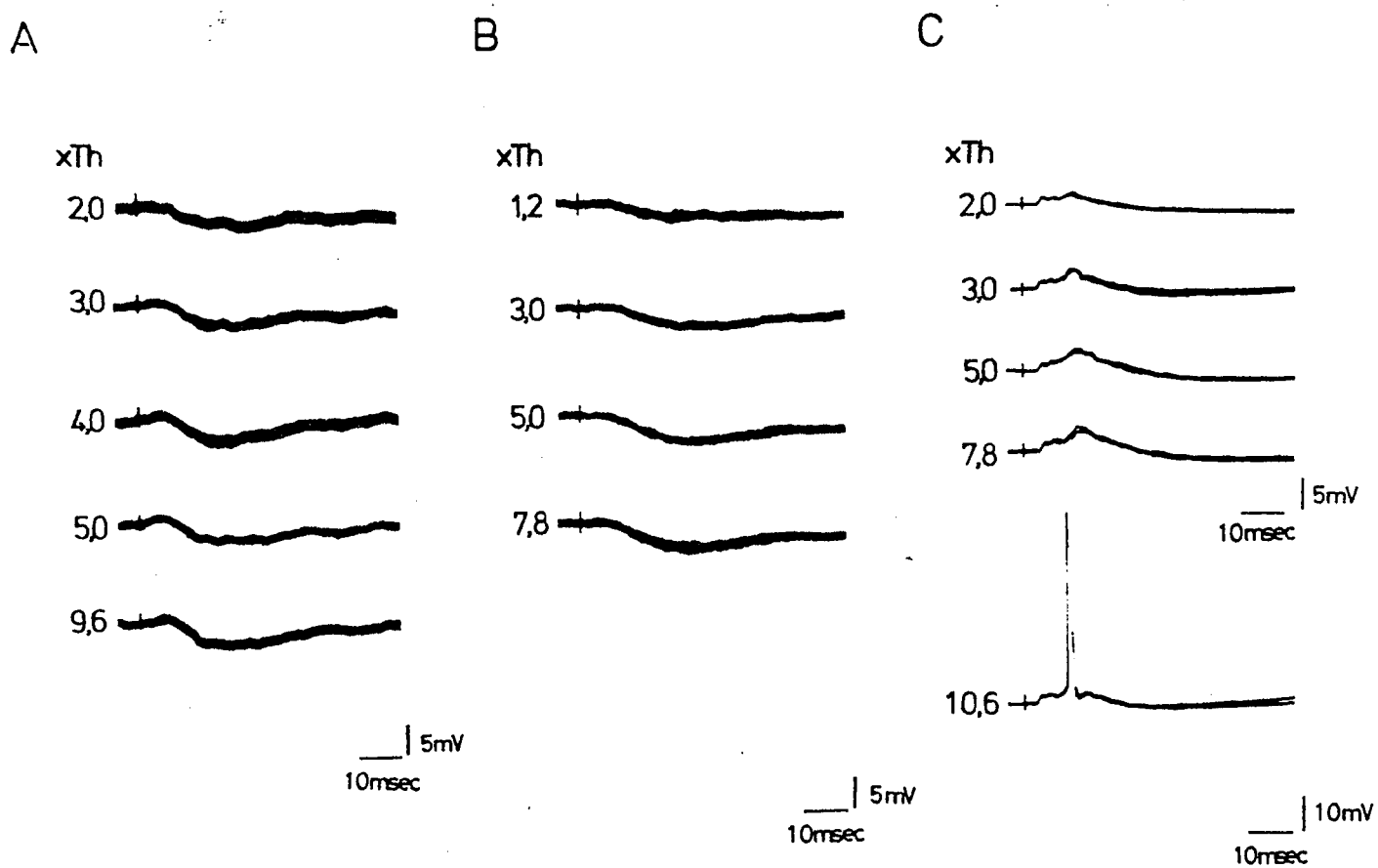
A
xTh
2,0
3,0
4,0
5,0
9,6
5mV
10msec
B
xTh
1,2
3,0
5,0
7,8
5mV
10msec
C
xTh
2,0
3,0
5,0
7,8
5mV
10msec
10,6
10mV
10msec

Fig.5

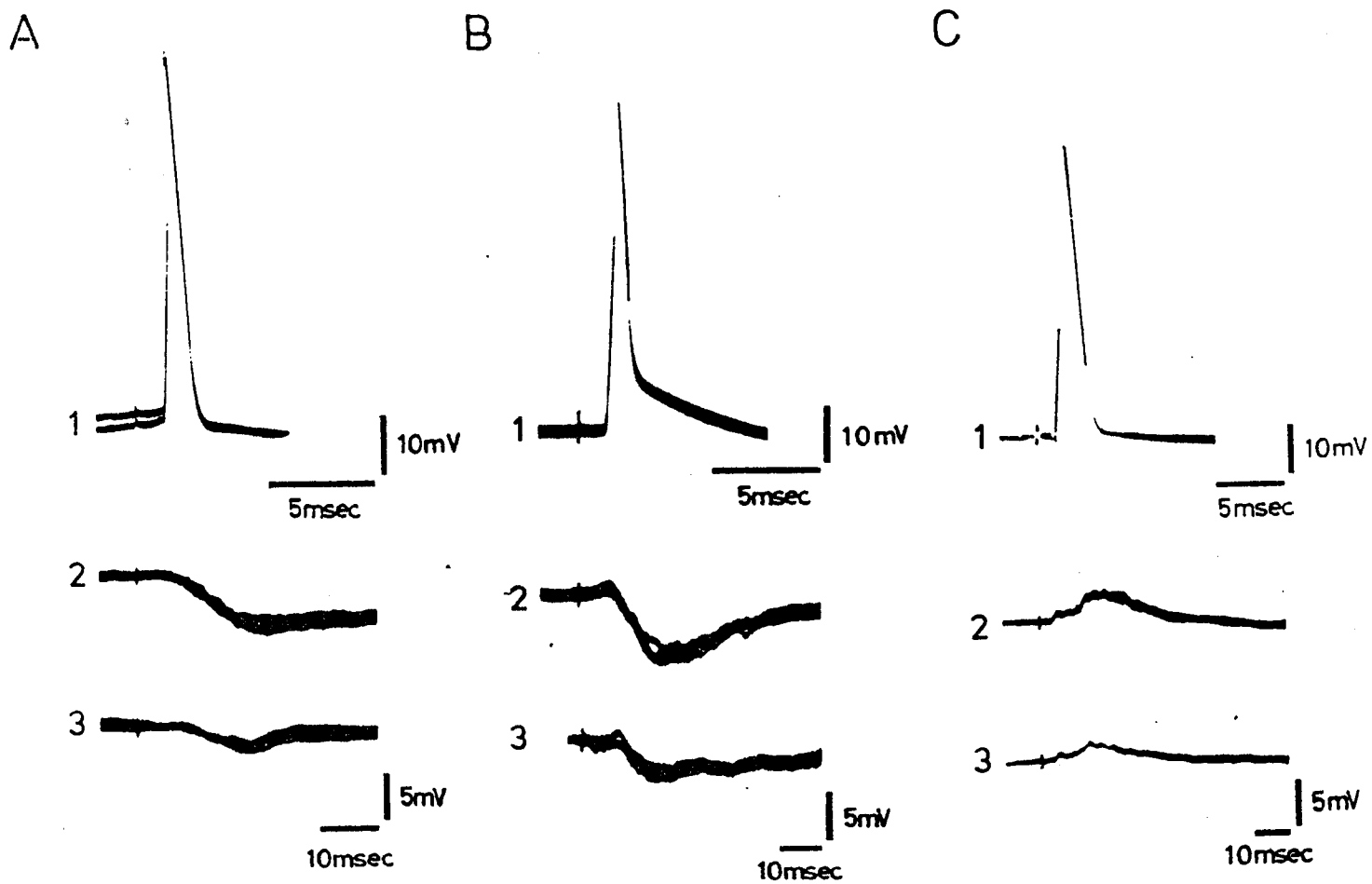

Fig.6

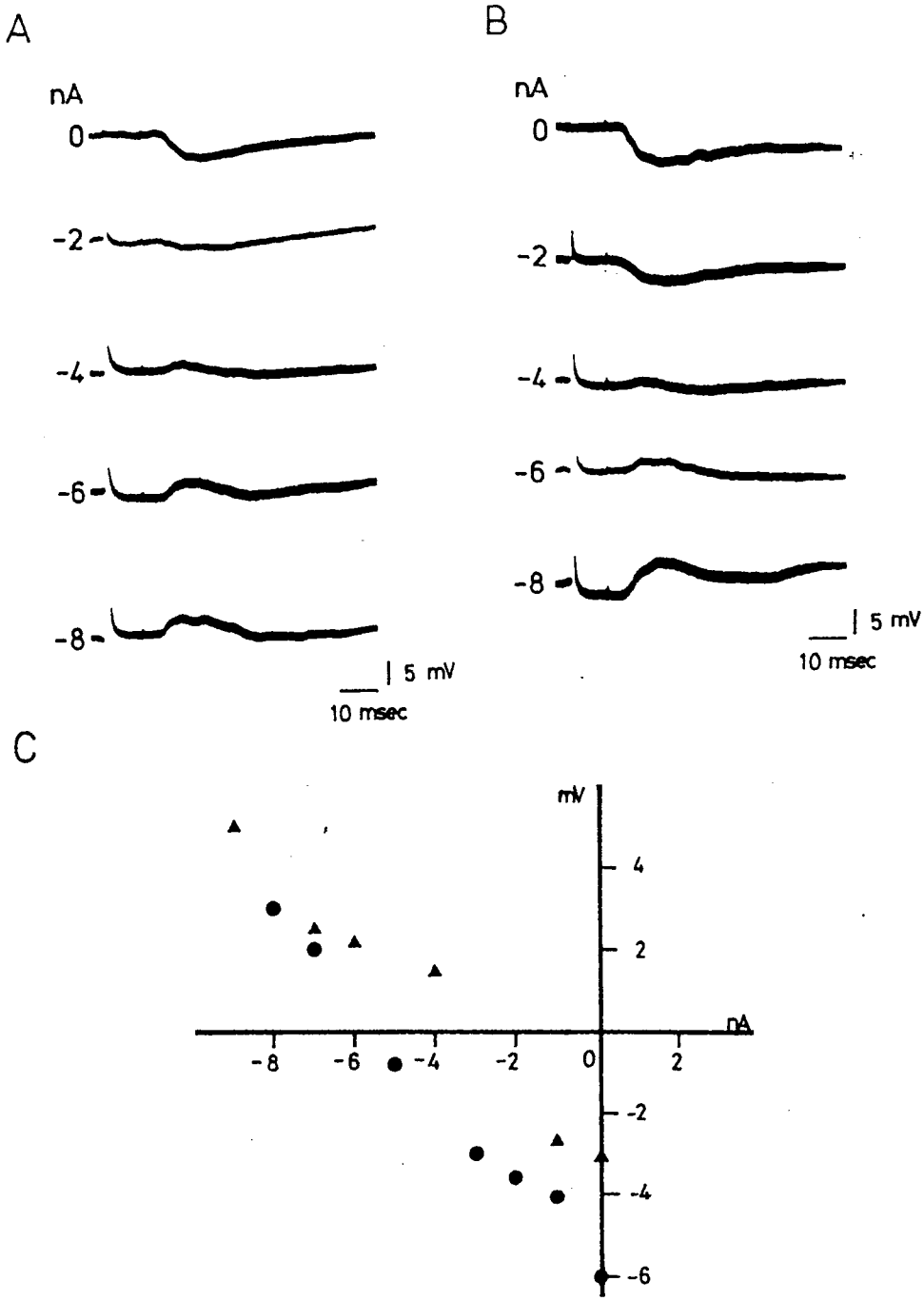
A
nA
0
-2
-4
-6
-8
5 mV
10 msec
B
nA
0
-2
-4
-6
-8
5 mV
10 msec
C
mV
4
2
nA
-8
-6
-4
-2
0
2
-2
-4
-6

Fig.7

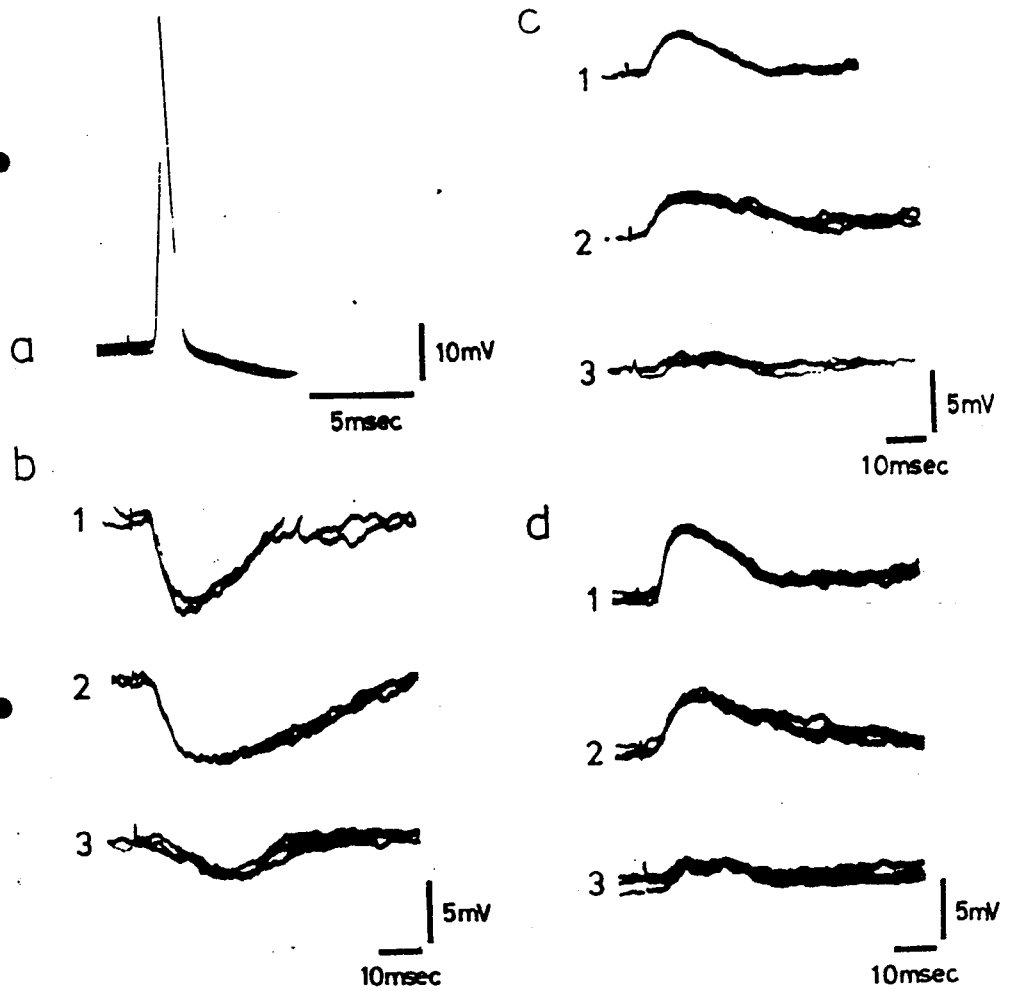

Fig.8

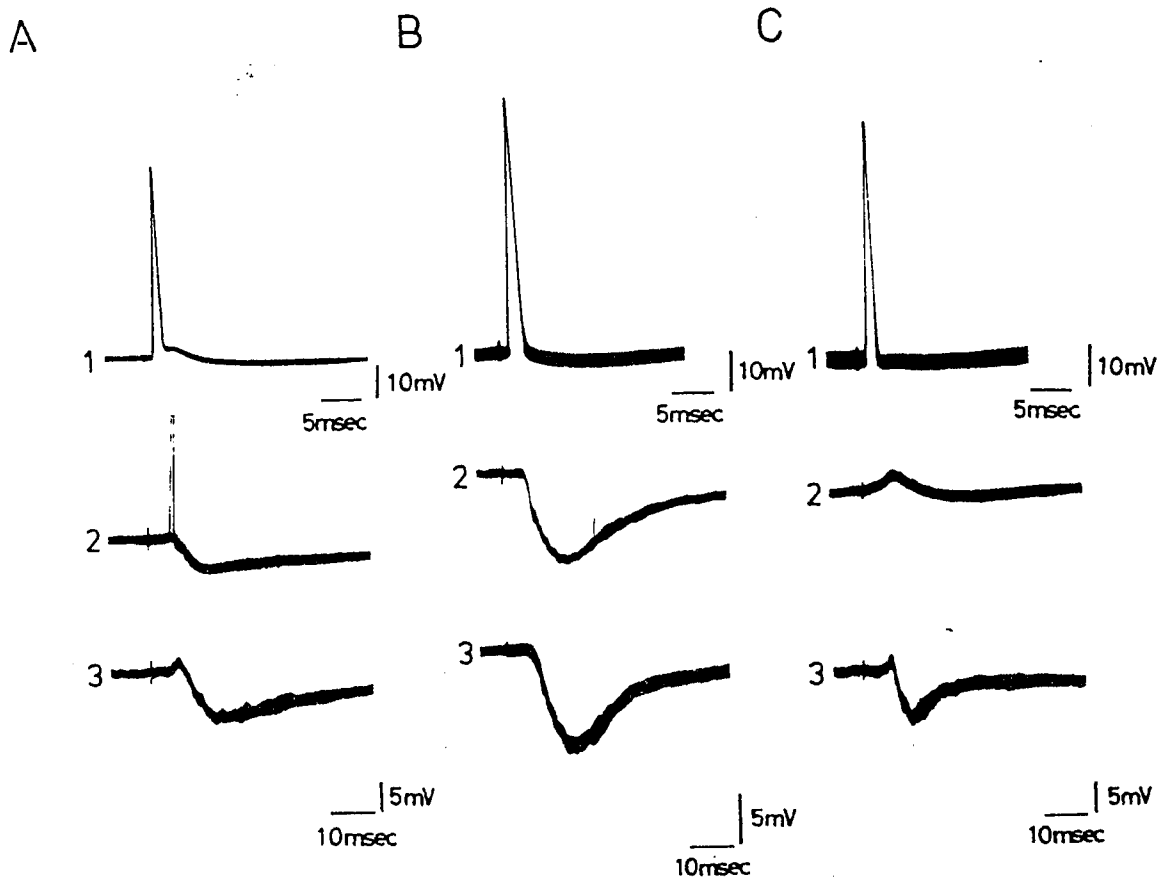

Fig.9

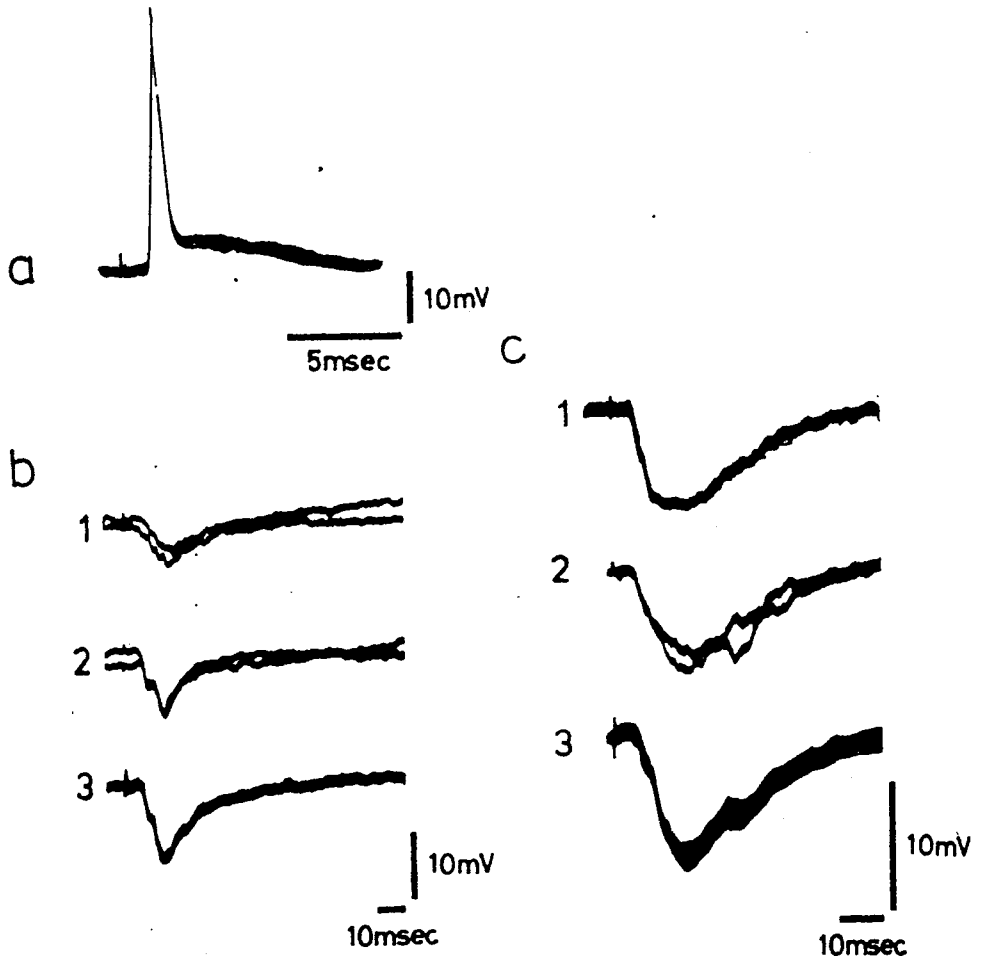

Fig.10

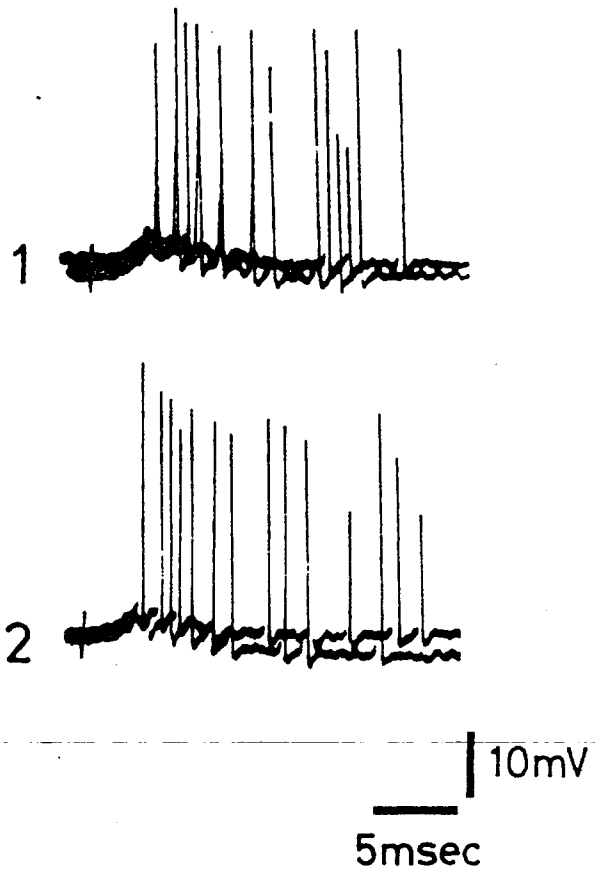

Fig.11

P.S.P.	No.	Ratio (%)	Mean Latency (msec)
IPSP	73	49.0	4.5
EPSP-IPSP	62	41.6	3.5
EPSP	14	9.4	3.4
	149	100.0	

Table 1.

Postsynaptic potentials in hypoglossal motoneurons evoked by stimulation of the inferior alveolar nerve

Satoshi Fujita

Department of Oral Physiology, School of Dentistry, Tokushima University
(Director: Prof. Mitsuru Takata)

3-18-15, Kuramoto-cho, Tokushima-city, 770

Key words: postsynaptic potential/ inferior alveolar nerve/ teeth pulp/ hypoglossal motoneuron

Abstract: Synaptic connection of the inferior alveolar nerve to the hypoglossal motoneurons was explored in nembutalized cats. By recording postsynaptic potentials evoked in the hypoglossal motoneurons by inferior alveolar nerve stimulation, hypoglossal motoneurons were divided into three types. There are motoneurons responding with the IPSP, the EPSP-IPSP sequence and the EPSP, respectively. In 149 explored motoneurons, the percentage of cells responding with the IPSP, the EPSP-IPSP sequence and the EPSP was 49.0, 41.6 and 9.4%, respectively. From the measurement of the latency of the IPSP(4.5 msec) and the EPSP(3.4 msec), it was suggested that inhibitory and excitatory pathway from inferior alveolar nerve afferents to hypoglossal motoneurons are probably trisynaptic and disynaptic. The IPSP in hypoglossal motoneurons evoked by inferior alveolar nerve stimulation was reversed to a depolarizing potential by displacing the membrane potential toward hyperpolarization and by injecting Cl^- ions into a cell. There were no pronounced differences between the pattern of synaptic linkage of the inferior alveolar nerve and the lingual nerve to hypoglossal motoneurons.

Figure legends

Fig. 1 Schematic diagram of the experiment. Abbreviations Li.N.;lingual nerve, I.A.N.; inferior alveolar nerve, Hyp.N.(P); hypoglossal nerve innervating tongue protrusive muscles, Hyp.N.(R); hypoglossal nerve innervating tongue retractive muscles, S; stimulating electrodes, R; recording electrodes, N.V.S.; trigeminal sensory nucleus, N.XII; hypoglossal nucleus.

Fig. 2 Incoming nerve volley recorded in the semilunar ganglion evoked by inferior alveolar nerve (I.A.N.) stimulation. A, responses recorded from the semilunar ganglion to stimulation of the I.A.N..Numerals denote an intensity of applied stimuli to the I.A.N.. B, graph representing the amplitude of responses as a function of an intensity of I.A.N. stimulation.

Fig. 3 Postsynaptic potentials (PSPs) in protrusive motoneurons evoked by I.A.N. stimulation. A, neuron responding with the EPSP-IPSP sequence. A-1, antidromic spike evoked by Hyp.N.(P) stimulation. A-2, EPSP-IPSP sequence evoked by I.A.N. stimulation. A-3, response of this P-Mn to strong stimulation. B, neuron responding with the IPSP. a-1, antidromic spike. a-2, IPSP evoked by I.A.N. stimulation. b, depression of spontaneous discharges by I.A.N. stimulation. C, neuron responding with the EPSP. C-1, antidromic spike. C-2, EPSP evoked by I.A.N. stimulation. C-3, response of this P-Mn to strong stimulation of the I.A.N.. C-4, recordings of C-3 at faster sweep speed.

Fig. 4 PSPs evoked in retractive motoneurons by I.A.N. stimulation. A, neuron responding with the EPSP-IPSP sequence. A-1, antidromic spike evoked by Hyp.N.(R) stimulation. A-2, EPSP-IPSP sequence evoked by I.A.N. stimulation. A-3, responses of this R-Mn to strong stimulation of the I.A.N.. B, neuron responding with the IPSP. B-1, antidromic spike. B-2, IPSP evoked by I.A.N. stimulation. C, neuron responding with the EPSP. C-1, antidromic spike. C-2, EPSP evoked by I.A.N. stimulation.

Fig. 5 PSPs of a P-Mn produced by graded stimulation of the I.A.N.. Numerals denote stimulus intensities as the multiples of the nerve threshold. A, neuron responding with the EPSP-IPSP sequence. B, neuron responding with the IPSP. C, neuron responding with the EPSP.

Fig. 6 PSPs in protrusive motoneurons by stimulation of lower canine teeth pulp. A, neuron responding with the IPSP. A-1, antidromic spike. A-2, IPSP evoked by stimulation of the I.A.N.. A-3, IPSP evoked by stimulation of the pulp. B, neuron responding with the EPSP-IPSP sequence. B-1, antidromic spike. B-2, EPSP-IPSP sequence evoked by stimulation of the I.A.N.. B-3, EPSP-IPSP sequence evoked by stimulation of the pulp. C, neuron responding with the EPSP. C-1, antidromic spike. C-2, EPSP evoked by stimulation of the I.A.N.. C-3, EPSP evoked by stimulation of the pulp.

Fig. 7 Reversal of the IPSP. Effect of the displacement of the membrane potential to hyperpolarization on the IPSP in protrusive motoneurons(A and B) evoked by I.A.N. stimulation. Numerals denote an intensity of the injected

current in nanoampere(nA). C, graph representing the amplitude of PSPs as a function of the injected current. Filled circles and triangles correspond to results of A and B.

Fig. 8 Reversal of the IPSP by Cl^- ions. a, antidromic spike. b, IPSPs recorded immediately after penetration of a KCl filled electrode into a P-Mn. b-1, IPSP evoked by lingual nerve stimulation. b-2, IPSP evoked by I.A.N. stimulation. b-3, IPSP evoked by lower canine teeth pulp stimulation. Potentials recorded three and five minutes after penetration of a KCl filled electrode are shown in c and d. 1, depolarizing potential evoked by lingual nerve stimulation. 2, depolarizing potential evoked by I.A.N. stimulation. 3, depolarizing potential evoked by pulp stimulation.

Fig. 9 PSPs in protrusive motoneurons evoked by lingual nerve(Li.N.) stimulation. A, neuron responding with the EPSP-IPSP sequence. A-1, antidromic spike. A-2, EPSP-IPSP sequence evoked by I.A.N. stimulation. A-3, EPSP-IPSP sequence evoked by Li.N. stimulation. B, neuron responding with the IPSP. B-1, antidromic spike. B-2, IPSP evoked by I.A.N. stimulation. B-3, IPSP evoked by Li.N. stimulation. C, neuron responding with the EPSP. C-1, antidromic spike. C-2, EPSP evoked by I.A.N. stimulation. C-3, EPSP-IPSP sequence evoked by Li.N. stimulation.

Fig 10 Occlusion of IPSPs by stimulation of the I.A.N. and the Li.N. simultaneously. a, antidromic spike. b-1, IPSP evoked by stimulation of the I.A.N.. b-2, IPSP evoked by stimulation of the Li.N.. b-3, IPSP evoked

by stimulation of the I.A.N. and the Li.N. simultaneously. In c are shown the recordings of b at faster sweep speed and high amplification.

Fig. 11 Responses of an interneuron to stimulation of the trigeminal nerve. Intracellular recordings of an interneuron located on the ventral to the hypoglossal motor nucleus. 1, responses evoked by I.A.N. stimulation. 2, responses evoked by Li.N. stimulation.

Table 1 Classification of PSPs in hypoglossal motoneurons evoked by stimulation of the inferior alveolar nerve.