ネコ外側翼突筋の反射性応答

Reflex Activities of the Lateral Pterygoid Muscle in Cats

坪井 明 人 佐々木 啓 一 稲井 哲 司 渡辺 誠
Akito Tsuboi, Keiichi Sasaki, Tetsuji Inai, Makoto Watanabe

東北大学歯学部歯科補綴学第二講座

Department of Prosthetic Dentistry, Tohoku University School of Dentistry

I. はじめに

外側翼突筋の機能に関する生理学的研究は、これまで種々の動物およびヒトにおいて行われてきた。しかし、そのほとんどは顎口腔系の機能時における活動様式、すなわち、種々の下顎位でのクレンチング、あるいは咀嚼運動、嚥下運動時の活動に関するものであり^{1) - 6)}、反射性活動についての報告はきわめて少ない。これは、外側翼突筋が咀嚼筋の中では深部に位置し、筋電図の導出が技術上困難であることに起因しているものと思われる。

一方、咀嚼筋活動は口腔領域の種々の感覚受容器の興奮により反射性に調節されていることが知られており、外側翼突筋の活動もこれに違いないものではないと考えられる。これまで、外側翼突筋の反射性活動については、Kawamura⁷⁾はネコにおいて、Sessle⁸⁾はサルにおいて、Widmer⁹⁾、McMillanとHannam¹⁰⁾はヒトにおいて、口腔領域の刺激により惹起される応答について報告している。しかし報告された反射活動の性質はさまざまであり、未だ意見の一致を見ない。

そこで本研究は、ネコを用いて、外側翼突筋に直視直達の方法で正確に電極を刺入し、その筋電図を記録・分析し、口腔内感覚入力が外側翼突筋にどのような反射性活動を惹起するかを検索した。

II. 材料および方法

実験には、2.1~3.4Kgの雌雄成熟ネコ10匹を用いた。塩酸ケタミン(25mg/Kg)の腹腔内投与による導入麻酔後、気管カニューレおよび前肢の正中静脈に静脈カテーテルを挿入固定、 α -クロラロース(40mg/Kg)を静注し麻酔した。

次に、左側顎二腹筋前腹、咬筋の活動電位を記録するため、顎下部、顎角部の皮膚を切開し、各筋を剖出した。その後、頭部を自作の固定装置に固定後、左側前頭骨眼窩部および頬骨弓上部を除去、眼球およびその付着組織を全摘し、左側外側翼突筋を剖出した。実験中はネコを循環式保温パッド(AHS Co. Model 120)を用いて体温を38℃に保持した。

1. ネコの外側翼突筋の解剖

図1は、ネコの眼窩部の側面観である。外側翼突筋は咀嚼筋の中では深部に位置し、さらにネコの外側翼突筋は、非常に小さな筋肉であるため、正確にその筋中に記録電極を刺入することは容易ではない。そこで外側翼突筋を剖出する必要が生じる。ネコの場合、眼窩部から外側翼突筋に到達するのが最も容易である。すなわち、図1に示すように眼球およびその付着組織を全摘すると、上顎神経、内側翼突筋およびこの図には示されていないが側頭筋が観察され、さらにその深部に、外側翼突筋が、上顎神経および正円孔の下方、内側翼突筋の後上方、側頭筋の内側に細い带状に水平かつやや後上方に走行しているのが観察できる。

図1 外側翼突筋が上顎神経および正円孔の下方、内側翼突筋の後上方に観察できることを示すネコの眼窩部の側面観

2. 口腔粘膜の電気刺激

刺激電極は、直径0.2mmのステンレス鍼灸針（アサヒ技研、No.5）をホルムバールで絶縁被覆し、先端から1mm露出させた極間距離3mmの双極電極である。この自作の電極を手動マニピュレータに装着し、これを介して上顎左側犬歯部の歯肉頬移行部に持続時間1msecの定電流矩形波による電気刺激を与えた。刺激装置は、日本光電社製SENG100型を使用し、その刺激強度は任意に変化させた。

3. 誘発筋電図の記録

筋電図の記録は、直径0.08mmのエナメル被覆線の先端1.0mmを露出させたfine wire electrodeを用い、左側の外側翼突筋（極間距離約5.0mm）、顎二腹筋（極間距離約8.0mm）、咬筋（極間距離約8.0mm）から双極導出した。各筋の誘発筋電図は生体用前置増幅器（日本光電、AVB-9, AVB-10）を用いて増幅後、陰極線オシロスコープ（日本光電、VC-9）で観察し、データレコーダ（ソニー、FE-35A）に記録した。各筋の誘発電位の大きさ、潜時などは、筋電図を全波整流後、シグナルプロセッサ（日本電気三栄、7T08）を用いて、sampling time 50 μ secにて、平均加算を行い、比較検討した（図2）。

III. 結果

α -クロラロース麻酔ネコの口腔粘膜を電気刺激し、外側翼突筋に惹起される反射性応答に

図2 実験のブロックダイアグラム

について検討した。図3は、左側上顎犬歯部粘膜の電気刺激により、同側の咬筋、外側翼突筋および顎二腹筋前腹から得られた反射性応答の一例である。上から咬筋、外側翼突筋、顎二腹筋前腹の誘発筋電図を、矢印は刺激部位を示している。顎二腹筋前腹からは、これまで当教室から報告されている潜時の異なる2種の開口反射応答⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾が導出できた。この顎二腹筋前腹に惹起される潜時の短い応答をEarly Response (ER)、潜時の長い応答をLate Response (LR)とする。さらに、外側翼突筋からも潜時の短い応答と長い応答からなる二峰性の誘発筋電図が観察された。この外側翼突筋に誘発される潜時の短い応答をFast Response (FR)、潜時の長い応答をSlow Response (SR)とする。しかし、咬筋からは、このような反射性応答は観察されなかった。

1. 口腔粘膜刺激による外側翼突筋の反射性応答

この外側翼突筋に惹起される二峰性の反射性応答の性質を明らかにするため、上顎犬歯部歯肉頬移行部を種々の刺激強度で電気刺激し、各応答の発現様式を観察した。図4は、種々の刺激強度における外側翼突筋の反射性応答を示す。刺激強度0.65mAのとき、潜時約18msecの応答(SR)のみが出現した。刺激強度を0.70mAに強めると潜時約7msecの応答(FR)が出現し、潜時の長い応答と短い応答の二峰性の活動電位が認められた。刺激強度0.75mAでは、FRの振幅は増加し、一方、SRの振幅は減少した。さらに刺激強

図3 咬筋、外側翼突筋および顎二腹筋前腹の誘発筋電図

図4 種々の刺激強度における外側翼突筋の反射性応答

度を強めると、SRは消失し、より振幅の増加したFRのみが観察された。

図5は、刺激強度と2種の応答の大きさの関係を示した刺激強度－応答曲線である。横軸は刺激強度を、縦軸は応答の大きさを表し、白丸(○)はSRを、黒丸(●)はFRを示している。各応答の大きさは10回平均加算後の波形の面積を求めて表した。

刺激強度の弱いときはSRのみが得られ、刺激強度を強めるとFRが出現した。さらに刺激強度を強めるとFRはさらに増大した。一方、SRは0.4mAまで増大した後、減少し消失した。

外側翼突筋におけるFRとSR、それぞれの応答の閾値は、 $0.53 \pm 0.12 \text{ mA}$ 、 $0.47 \pm 0.15 \text{ mA}$ ($N=3$)であった。また、それぞれの応答の潜時を閾値の1.2倍の刺激強度で求めてみるとFRが $7.0 \pm 0.84 \text{ msec}$ 、SRが $18.9 \pm 1.41 \text{ msec}$ であった。

以上から、口腔粘膜の電気刺激により、外側翼突筋には潜時の異なる2種の反射応答が誘発され、それぞれの応答の閾値、刺激強度－応答関係が異なることが明らかとなった。すなわち潜時の短い応答FRは、潜時の長い応答SRよりも閾値が高く、刺激強度の増大と共にその応答は増大した。しかし潜時の長い応答SRは、中等度の刺激でその応答が最大となり、FRの増大につれて、その応答振幅は減少した。潜時のばらつきはFRに比べて、SRの方が大きかった。

さらに、口腔粘膜に頻回電気刺激を与え、それぞれの応答の追従性を検索した。SRは刺激頻

図5 外側翼突筋に惹起されるFRとSRの刺激強度－応答曲線

度 3-5Hzの頻回刺激まで追従し、それ以上の頻度で応答が消失した。一方、FRは20-25Hzの頻回刺激にまで追従した。すなわち、頻回刺激に対する追従性がFRとSRでは異なった。このことから、FRとSRとでは神経回路網が異なり、SRがより多くのシナプスを介して発現していることが推察される。表1は、これらの2種の応答の性質の相違を示している。

Lateral pterygoid Muscle

	Fast Response	Slow Response
Threshold (mA)	0.53±0.12	0.47±0.15
Latency (msec)	7.0 ±0.84	18.9±1.14
Following Frequency (Hz)	20~25	3~5

(n=3)

表1 外側翼突筋に惹起されるFRとSRの閾値、潜時、頻回刺激追従性

そこで、これらの違いをさらに明らかにするため、FRとSRに対する全身麻酔剤の影響を検索した。反射性応答が二峰性に観察される刺激強度で、ペントバルビタル2.0mg/Kgを静注し、麻酔後の時間経過に伴うFRとSRの大きさの変化を観察した。図6に、その結果を示す。白丸(○)はSRを、黒丸(●)はFRを表し、横軸は麻酔後の時間経過を、縦軸は各応答の大きさを、麻酔前の応答の大きさを100%として示している。

SRは麻酔後、速やかにその大きさを減少し、1分20秒後には完全に消失した。一方、FRは麻酔後5分後まで緩やかに減少し、約5分30秒後には完全に消失した。すなわち、SRはペントバルビタル麻酔によって速やかに影響を受けるが、FRはその時間的経過がSRよりも遅いことが明らかになった。これは、SRの反射中枢がFRのそれよりも、ペントバルビタル全身麻酔の影響を受け易いことを示すものと考えられる。

また、観察された2つの反射性応答が、末梢においてその起源に違いがあるかを調べるために、FRとSRの応答が観察される刺激強度で、刺激部位の周囲組織を2% Xylocaine 0.2mlで局所麻酔した。図7は、局所麻酔後の時間経過に伴

図6 ペントバルビタル全身麻酔後の時間経過に伴うFRとSRの大きさの変化

図7 2% Xylocaine局所麻酔後の時間経過に伴うFRとSRの大きさの変化

うFRとSRの大きさの変化を図6と同様に示したグラフである。○はSRを、●はFRを表し、横軸は麻酔後の時間経過を、縦軸はコントロールに対する応答の大きさの割合である。FRは麻酔後速やかにその応答振幅が減少し、1分20秒後にはほぼ消失した。一方、SRは麻酔1分後までにコントロールの30%に減少した後、約5分30秒後までコントロールの25-40%の大きさで認められ、約6分後には消失した。すなわち、外側翼突筋に惹起される反射応答のFRとSRとでは、刺激部位周囲の局所麻酔に対する影響が異なった。このことは、FR、SR、それぞれの応答の発現に参与している口腔粘膜の感覚受容器、あるいは感覚神経が異なることを示唆している。

2. 顎二腹筋との比較

前述のように、口腔粘膜の電気刺激により、外側翼突筋の反射性応答とほぼ同じ潜時で、顎二腹筋前腹から2種の開口反射応答が導出される。そこで、外側翼突筋の反射性応答と顎二腹筋の開口反射応答とがどのような関係を有しているのかを明らかにするために、顎二腹筋前腹から誘発筋電図を導出した。

図8は、外側翼突筋の実験で用いた同じ刺激部位、すなわち上顎犬歯部歯肉頬移行部を、種々の刺激強度で電気刺激し、刺激強度と応答との関係を示したものである。すなわち、刺激強度0.65mAの時、潜時約20msecの潜時の長い応答(LR)のみが出現し、さらに刺激強度を0.70mAに強めると潜時約8msecの潜時の短い応答(ER)が出現し、二種の活動電位が認められた。さらに刺激強度を強めるとERの大きさは増大し、一方LRの大きさは減少した。刺激強度0.80mAの時、LRは消失し、より振幅が増大したERのみが観察された。

表2は、顎二腹筋前腹におけるERとLRの閾値、潜時および頻回刺激に対する追従性を表にしたものである。それぞれの応答の閾値は、ERが 0.47 ± 0.15 mA、LRが 0.43 ± 0.15 mAであった。また、それぞれの応答の潜時を閾値の1.2倍の刺激強度で求めてみるとERが 7.7 ± 0.22 msec、LRが 20.6 ± 0.91 msecであった。さらに、口腔粘膜に頻回の電気刺激を与え、それぞれの応答の追従性を検索すると、ERは20-25Hzで、LRは3-8Hzで開口反射応答が消失した。

Digastric Muscle

	Early Response	Late Response
Threshold (mA)	0.47 ± 0.15	0.43 ± 0.15
Latency (msec)	7.7 ± 0.22	20.6 ± 0.91
Following Frequency (Hz)	20~25	3~8

(n=3)

表2 顎二腹筋前腹に惹起されるERとLRの閾値、潜時、頻回刺激追従性

図8 種々の刺激強度における顎二腹筋前腹の反射性応答

以上の結果から、顎二腹筋前腹から導出される2種の開口反射応答のこれらの性質は、外側翼突筋で観察された2種の反射応答のそれと合わせて類似していることが明らかになった。

IV. 考察

α -クロラロース麻酔ネコの口腔粘膜の電気刺激により、外側翼突筋に潜時、ならびに閾値の異なる2種の反射性応答が誘発された。すなわち、潜時約7msecの高閾値の応答FRと、潜時約19msecの低閾値の応答SRの2種である。これらの応答は、開口筋である顎二腹筋前腹に誘発される2種の開口反射応答とほぼ同様に惹起され、それぞれ応答の性質は、きわめて類似していた。また開口筋である咬筋からは、これらの応答に対応した反射活動は認められなかった。

Kawamuraら⁷⁾は、ネコにおいて、舌尖の電気刺激により外側翼突筋に潜時10-12msecの開口反射応答を認めている。また、Sessleら⁸⁾はサルにおいて、口蓋の電気刺激により外側翼突筋下頭筋に潜時約10msecの開口反射応答を報告している。これらの開口反射応答は、刺激部位およ

び刺激強度の点から推察すると、今回我々が観察した2種の反射応答のなかの、高閾値、短潜時のFRに相当するものと思われる。

また本実験において、刺激部位周囲の局所麻酔により、短潜時のFRは長潜時のSRよりも速やかに、その応答が消失した。局所麻酔剤の効果は、神経線維の直径によって異なり、太い線維に比べて細い線維において早く発現することが知られており、このことから、外側翼突筋の2種の反射応答の発現に関与している感覚神経の太さが異なっていることが示唆される。すなわち、FRはSRに比較し、細い求心性神経の興奮により誘発されると考えられる。

口腔粘膜を支配する感覚神経には、低閾値の機械受容器からの情報を伝達するA β 神経線維と、高閾値の侵害性情報を担うA δ 神経線維、C神経線維が存在することが知られている¹⁵⁾。外側翼突筋の2種の応答は、その閾値、局所麻酔の影響から、短潜時のFRは高閾値の侵害受容器、長潜時のSRは低閾値の機械受容器の興奮により誘発される応答であることが推察される。

しかし、本実験では刺激として電気刺激のみを用いており、口腔粘膜に存在する受容器および神経線維を刺激しているものと考えられる。A β 神経線維を求心性神経として有する機械受容器に対する適刺激は機械刺激であり、また侵害受容器においても、複数の種の異なる刺激に応答する受容器の存在が知られている¹⁶⁾⁻¹⁷⁾。さらに同じグループの神経線維でも線維径のばらつきが大きいために、電気刺激に対する興奮性にもかなりのばらつきが存在するものと考えられる。そのため、電気刺激のみによって、末梢における受容器の種類を区別するのは困難であると考えられる。したがって受容器の種類を明らかにするためには、今後、機械刺激、侵害性熱刺激(noxious heat)等を用いて刺激の種を変化させて実験する必要があると思われる。

さらに、これらの2種の反射応答は、頻回刺激に対する追従性、ペントバルビタール全身麻酔に対する影響が異なり、各々の応答の中樞経路の違いが示唆された。すなわち、長潜時のSRは頻回刺激に対する追従性がFRよりも低く、FRのそれよりも数多くのシナプスを介していること、また、全身麻酔の影響をFRよりも速やかに受け易いことから、その反射中枢がFRのそれよ

りも、より上位に位置することが考えられる。

一方、同時記録した顎二腹筋前腹からは、潜時の異なる2種の開口反射応答、すなわち短潜時のER、長潜時のLR、が導出された。これらの応答の性質は、これまで当教室の渡辺¹¹⁾、宗形¹²⁾、佐々木¹³⁾、稲井¹⁴⁾らにより報告されたものと同一であった。これまでの実験から、顎二腹筋前腹におけるERは侵害受容性の防御反射としての役割をもつ開口反射であり、LRは口腔領域の歯牙、粘膜、顎関節などに加えられた機械的刺激に対する機能的な反射応答であること、ERの発現によりLRは抑制を受けること、LRはERと比較し、より多くのシナプスを介し、また全身麻酔剤の影響を受け易いより上位の中樞を経由していることが明かとなっている。

これらの顎二腹筋前腹における2種の開口反射応答のそれぞれの性質は、外側翼突筋における2種の反射応答の知見とほぼ一致している。このことから、外側翼突筋における2種の反射応答は、顎二腹筋前腹に観察される2種の開口反射応答とそれぞれ対応する反射であることが考えられる。

しかし、各応答の潜時は、顎二腹筋前腹が外側翼突筋のそれよりも、それぞれ1~2 msec長い傾向が認められたが、これは支配している運動神経線維の長さの違いに起因するものと思われる。すなわち、比較的吻側に位置する顎二腹筋前腹と、深部に位置する外側翼突筋では、三叉神経運動核からの距離が大きく異なるためではないかと考えられる。

また各応答の閾値も全く同一ではなく、外側翼突筋の各々の応答の閾値は、顎二腹筋前腹のものよりも高い傾向が観察され、今回報告した個体における統計では、外側翼突筋の長潜時の応答SRの閾値は、顎二腹筋前腹の短潜時の応答ERのそれとほぼ同レベルであった。しかし、各筋内での閾値は、短潜時の応答が長潜時の応答よりもそれぞれ高閾値であり、同一個体における局所麻酔の影響も、外側翼突筋、顎二腹筋前腹の各々の応答に対してほぼ同様であった。これらのことから、反射中枢における感覚情報の集積などのネットワークは若干異なっているものの、各々の応答を惹起する受容器は筋の種類に関わらず同一であると考えられる。

以上の各応答の性質から、口腔粘膜の電気刺激により外側翼突筋に誘発される2種の反射応答は、顎二腹筋前腹で観察される開口反射と同様の、それぞれ起源、機能的役割の異なる2種の開口反射応答であると考えられる。

さらに、Widmer⁹⁾は、ヒトの外側翼突筋下頭から、口蓋の電気刺激により2峰性の反射応答を報告している。このことは、ネコの外側翼突筋に惹起される反射活動が、ヒトのそれに惹起される反射活動と全く異なるものではないことを支持するものと考えられる。すなわち、顎顔面形態、顎関節の構造、咀嚼筋の走行、咀嚼パターンなどが、ヒトとは異なっているが、その筋の持つ基本的機能、すなわち反射活動等は共通する部分があるものと思われる。

本実験の結果は、外側翼突筋が、口腔粘膜の電気刺激に対して、顎二腹筋前腹と同様の開口筋としての機能を有することを強く支持するものである。しかし外側翼突筋には筋紡錘が存在し、伸張反射が観察されることが報告されており、外側翼突筋の機能に関しては未だ不明な点が多い。そこで今後は開口筋群の活動電位なども同時記録し、歯牙の機械的刺激、あるいは下顎へ対しての機械的刺激等を行い、その反射性活動をより詳細に検討して行く必要があるものと思われる。

められなかった。

4. 以上の結果は、外側翼突筋が口腔粘膜の電気刺激に対して、顎二腹筋前腹と同様の開口筋としての機能を有することを支持するものである。

V. まとめ

1. α -クロラロース麻酔ネコの口腔粘膜の電気刺激により、外側翼突筋に潜時約7 msecの高閾値の応答FRと、潜時約19 msecの低閾値の応答SRの2種の反射性応答が誘発された。
2. FRとSRは、異なる刺激強度-応答曲線を持っていた。さらに、頻回刺激追従性、局所麻酔剤・全身麻酔剤による影響が異なっていた。
3. これらの応答は、開口筋である顎二腹筋前腹に誘発される2種の開口反射応答とほぼ同様に惹起され、それぞれ応答の性質は、きわめて類似していた。また閉口筋である咬筋からは、これらの応答に対応した反射活動は認

<参考文献>

- 1) Moyers, R.E.: An electromyographic analysis of certain muscles involved in temporomandibular movement. *Am.J.Orthod.*, 36: 481-515, 1950.
- 2) 神山光男: 外側翼突筋の活動様式に関する研究 口病誌, 25:164-183, 1958.
- 3) Miller, A.J. and Vargervik, K.: The bilateral function of the lateral pterygoid muscles. *J.Dent.Res.*, 59:893(abst.), 1980.
- 4) McNamara, J.A.: The independent functions of the two heads of the lateral pterygoid muscle. *Am.J.Anat.*, 138:197-206, 1973.
- 5) Mahan, P.E., Wilkinson, T.M., Gibbs, C.H., Mauderli, A. and Brannon, L.S.: Superior and inferior bellies of the lateral pterygoid muscle EMG activity at basic jaw positions. *J.Prosthet.Dent.*, 50:710-718, 1983.
- 6) Wood, W.W., Takada, K. and Hannam, A.G.: The electromyographic activity of the inferior part of the human lateral pterygoid muscle during clenching and chewing. *Archs oral Biol.*, 31:245-253, 1986.
- 7) Kawamura, Y., Kato, I. and Miyoshi, K.: Functional Anatomy of the Lateral Pterygoid Muscle in the Cat. *J.Dent.Res.*, 47:1142-1148, 1968.
- 8) Sessle, B.J. and Gurza, S.C.: Jaw movement-related activity and reflexly induced changes in the lateral pterygoid muscle of the monkey *Macaca fascicularis*. *Archs oral Biol.*, 27:167-173, 1982.
- 9) Widmer, C.G.: Jaw-opening reflex activity in the inferior head of the lateral pterygoid muscle in man. *Archs oral Biol.*, 32: 135-142, 1987.
- 10) McMillan, A.S. and Hannam, A.G.: Reflex inhibition in single motor units of the human lateral pterygoid muscle. *Exp.Brain Res.*, 76:97-102, 1989.
- 11) 渡辺誠、宗形芳英、鹿沼晶夫、田端孝義、刈田啓史朗: 歯根膜刺激による開口反射応答の機能的役割 歯基礎誌, 22:99, 1980.
- 12) 宗形芳英: 機能的役割の異なる二種の開口反射機構に関する研究 歯基礎誌, 23:534-547, 1981.
- 13) 佐々木啓一: 開口反射機構における口腔粘膜受容器に関する研究 歯基礎誌, 26:808-823, 1984.
- 14) 稲井哲司: 顎関節刺激による二種の開口反射応答に関する研究 歯基礎誌, 28:605-619, 1986.
- 15) Dubner, R., Sessle, J.B. and Storey, A.T.: *The Neural Basis of Oral and Facial Function.*, Plenum, N.Y., 1978.
- 16) Hu, J.W. and Sessle, B.J.: Properties of Functionally Identified Nociceptive and Nonnociceptive Facial Primary Afferents and Presynaptic Excitability Changes Induced in Their Brain Stem Endings by Raphe and Orofacial Stimuli in Cats. *Exp. Neurol.*, 101:385-399, 1988.
- 17) 熊澤孝朗: 痛みとポリモーダル受容器 日本生理誌, 51:1-15, 1989.