

ランニングタイトル：下顎枝矢状分割術と下歯槽神経障害

下顎枝矢状分割術に伴う知覚障害および下歯槽神経血管束の露出と下顎管の走行との関連性についての臨床的研究
—CT 画像を用いた下顎管の走行の解析—

¹⁾福岡歯科大学 口腔・顎顔面外科学講座口腔外科学分野

²⁾福岡歯科大学 口腔医療センター

中山 敬介 ^{1),2)}

A Clinical Study on the Relationship between the Anatomical Location of Mandibular Canal and the Occurrence of Inferior Alveolar Bundle Exposure and Damage after Sagittal Splitting Ramus Osteotomy .

—A Computed Tomographic Analysis on the Anatomical Location of Mandibular Canal—

Keisuke NAKAYAMA^{1),2)}

¹⁾Section of Oral Surgery, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Fukuoka Dental College

²⁾Center for Oral Disease, Fukuoka Dental College

Key Words: sagittal splitting ramus osteotomy, inferior alveolar nerve, CT, nerve damage

Abstract: Inferior alveolar nerve (IAN) damage, which results in paralysis of lower lip and mental region, is a major complication of sagittal splitting ramus osteotomy for jaw deformity. During the surgery, the exposure of inferior alveolar bundle (IAB) is occasionally observed in the splitted ramus, which is likely to be related to IAN damage. In order to explore the risk factors of IAB exposure and IAN damage, the distances between buccal cortex and mandibular canal on the horizontal section of ramus were measured with CT for 36 patients with 72 sites. S-W test evaluated IAN damage score (S-W score), was higher in the IAB exposure cases than the without exposure cases, but thereafter the scores of both cases decreased time dependently to the same level 12 weeks later. The distance between buccal surface and mandibular canal (a) as well as bone marrow thickness between buccal cortex and canal (a-c) at the mandibular angle region were significantly smaller in the IAB exposure cases and the IAN damage cases. However, both measurements of (a) and (a-c) were higher in the IAN damage cases rather than in the IAB exposure cases. Hence, other risk factors than the bony thickness were thought to be involved in IAN damage. When the route of mandibular canal in the ramus was compared between the IAN damage cases and the IAB exposure cases, the IAN damage cases showed a bending route type, but not straight type, in the figure of mandibular canal. The route of the mandibular canal suggested being a risk factor for IAN damage.

連絡先：中山敬介，福岡歯科大学口腔・顎顔面外科学講座口腔外科学分野，〒814-0193 福岡市早良区田村2丁目15-1

Reprint：Keisuke Nakayama, Section of Oral Surgery, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Fukuoka Dental College, 2-15-1 Tamura, Sawara-ku Fukuoka 814-0193, Japan

指導：池邊哲郎教授（口腔・顎顔面外科学講座）

和文抄録：顎変形症に対する下顎枝矢状分割術後の主要な合併症は、下歯槽神経損傷の結果として出現する下唇・オトガイ領域の知覚障害である。術中、矢状分割の際に下歯槽神経血管束の露出がしばしば認められ、それが、下歯槽神経損傷に関連する可能性が考えられる。そこで、下歯槽神経血管束の露出や下歯槽神経損傷の危険因子を検索することを目的に、顎変形症患者 36 症例 72 例において下顎枝の水平断面における頬側皮質骨から下顎管との距離を CT により測定した。下歯槽神経損傷は S-W テストにより評価し、下歯槽神経血管束非露出群の場合よりも下歯槽神経露出群において S-W score が高かったが、経時的に減少し、12 週間後には両群間に S-W score の差を認めなかった。下歯槽神経血管束露出群と術後に下歯槽神経障害を認めた群において、下顎角部での下顎枝頬側皮質骨外側から下顎管外側壁までの距離：a、頬側皮質骨内側面から下顎管外側壁までの距離（下顎管外側の海綿骨の厚さ）：a-c が明らかに短かった。しかし、a および a-c の測定距離は下歯槽神経血管束露出群よりむしろ下歯槽神経障害群のほうが厚かったことより、骨の厚さよりも他の危険因子が下歯槽神経障害に関与すると考えられた。そこで、下歯槽神経障害群と下歯槽神経血管束露出群で下顎枝中での下顎管の走行を比較したところ、下歯槽神経障害群では直線型ではなく、「く」の字型に屈曲した走行を示していた。この屈曲した下顎管の走行が下歯槽神経損傷の危険因子の一つであることが新たに示唆された。

緒 言

顎変形症に対して行われる下顎骨移動術で最も頻用されている手術方法は、下顎枝矢状分割術 (Sagittal Splitting Ramus Osteotomy : SSRO) である。その長所や適応範囲は、下顎枝垂直骨切り術 (Intraoral Vertical Ramus Osteotomy : IVRO) よりも広く、安定した治療成績や高い予知性から、世界中で最も汎用されている下顎骨移動術である。

一方、SSROの短所としては、口腔の最深部という狭い術野で下顎枝部を内・外側に分割する煩雑な術式で習熟を要すということ、顎関節症状が発症する可能性があること、下歯槽神経知覚障害の発生頻度が高いということが挙げられる^{1)~3)}。

なかでも、下歯槽神経知覚障害の頻度が高く、回復するまでの期間は予測困難であり、回復が認められない症例も散見されている。下歯槽神経知覚障害の発生頻度は、49%~85%程度と報告^{4)~7)}されており、佐々木ら⁸⁾は、患者の自覚症状の有無にかかわらず、電気生理学的には神経障害が100%生じていたとしている。

SSROは、下歯槽神経血管束 (下歯槽神経および下歯槽動静脈) が走行する下顎枝部を矢状方向に分割するため、分割面に下歯槽神経血管束の露出を認めることがあり、手術器具による直接的あるいは間接的な機械的神経損傷を生じうる可能性があるため、慎重な手術操作が要求される。

顎変形症患者へ SSRO を施行する際には、術前に下歯槽神経知覚障害出現の可能性を予知するために、危険因子を認識することが重要である。これまでも、SSRO 後の下歯槽神経知覚障害を惹起する因子や原因について多くの研究があり、骨片による下歯槽神経血管束の圧迫、手術時の器具による直接的な機械的刺激もしくは間接的な神経損傷、下歯槽神経血管束自体の浮腫、手術部位周辺の出血、遠位骨片の移動による下歯槽神経血管束の牽引などが報告^{9)~12)}されている。

そこで本研究では、福岡歯科大学医科歯科総合病院口腔外科で骨格性下顎前突症の診断下に SSRO を施行した患者を対象に、術前の CT 画像を資料として、下顎枝の形態および下顎管の走行と術中の下歯槽神経血管束の露出の有無および術後に出現した下歯槽神経知覚障害との関係を分析した。

対象と方法

1. 対象患者

対象は、2010年1月から2011年12月までの24か月間に、福岡歯科大学医科歯科総合病院口腔外科にて骨格性下顎前突症の診断下に、10年以上の経験を持った同一術者によりSSROによる下顎後退手術を受け、術後6か月以上の経過観察が可能であった患者36例72側（LeFort I型骨切り術SSRO併用症例：30例60側、SSRO単独症例：6例12側）とした。

性別は、男性11例・女性25例、年齢は17歳から53歳で平均年齢24.75歳であった（Table 1）。また、下歯槽神経知覚障害に影響を及ぼすと思われる他の因子を除外するため下顎後退量は10mm以下とし、オトガイ形成術を併用した症例は除外した。

2. SSROの術式

SSROは、Obwegeser法¹³⁾に準じて実施した。

下顎枝の頬舌側の粘膜骨膜を剥離し、内側は下顎切痕と下顎小舌の間で下顎咬合平面と平行に下顎枝後縁まで、外側は下顎第二大臼歯遠心から下顎角前切痕に向かって下顎下縁まで、Lindemann burおよびReciprocating bone sawを用いて内外側の皮質骨切りを行った。内外側の骨切り線を結ぶように、Round bur (#700)にて下顎枝前縁にGuide holeを形成し、Fissure bur (#702)およびReciprocating bone sawにて下顎枝前縁の骨切りを行い、Bone separatorを挿入して分割した。

近位・遠位骨片間に下歯槽神経血管束の露出を視覚的に認めたものを『下歯槽神経血管束露出あり』とし、骨片固定の際に下歯槽神経血管束への物理的な圧迫を避けるため、近位骨片の内側面に付着する海綿骨を可及的に削除し平滑化した。

近位・遠位骨片間の後縁に付着するPterygo-masseter slingを剥離し遠位骨片の十分な可動性を確認した後、上下顎を予定した咬合位で顎間固定し、LeFort I型骨切り術を併用した症例では、上顎の骨接合完了後に下顎の骨接合を行った。また、近位・遠位骨片の固定は、下顎頭が関節窩内の前上方位に位置するように、徒手的に下顎頭の位置を保持して固定した。

骨片固定は、チタン製ミニプレート（OSTEOMED社製：M4™ RIGID FIXATION SYSTEM またはSYNTHES社製：Matrix MANDIBLE SYSTEM）を、Bone screw（直径：2mm・長さ：5～7mm）によって、頬側

皮質骨のみに固定した (Mono cortical semi-rigid fixation)。術後の血腫を予防するために外側骨切り部周囲に持続吸引ドレーン (J-vac[®]) を留置し閉創した。

術直後から顎間ゴムまたはワイヤーで 7 日間の顎間固定を行い、顎間固定解除後は、左右側犬歯部に I 級または III 級ゴム、正中には Up-and-down elastics による顎間ゴム牽引を行った。

3. 下歯槽神経 (オトガイ神経領域) 知覚障害の測定法

下歯槽神経知覚障害の診査は、オトガイ神経支配領域の知覚検査として一般的に用いられている Semmes-Weinstein test (S-W test) により行った。

S-W test は、S-W pressure anesthesiometer (テスター) を使用して、術後 1 週・2 週・4 週・12 週・24 週に同一術者が施行した。

測定部位は、口腔顔面神経機能学会「口腔領域感覚異常診査プロトコル」¹⁴⁾ を参考に、オトガイ神経の 3 終枝である口唇枝・口角枝・オトガイ枝の走行を考慮したうえで、d: 下唇片側中央線上の粘皮境界隆起部位、e: 下唇片側中央線上の赤唇白唇移行部とオトガイ間の midpoint より上方 1/2 の点、f: 下唇片側中央線上の赤唇白唇移行部とオトガイ間の midpoint より下方 1/2 の点の 3 か所で測定した (Fig.1)。

S-W test は、静寂な環境下に被験者を仰臥位にして閉眼させた状態で Filament Marking (FM) 2.83 より開始し、FM4.31, FM6.65 の順にテスターの閾値を上げ、1 部位の測定点につき 3 回の刺激を行った。

Werner の方法¹⁵⁾ に準じて、テスターを 1~1.5 秒 かけて垂直に下ろし、測定部位に凹み (ディンプル) ができ、フィラメントが軽く屈曲する圧を加え、1~1.5 秒かけて離した。被験者が触刺激を認識できるまで線維のランクを上げ (Up), 刺激を認識できたら再度 1 ランク前に戻って刺激し (Down), Up・Down を 3 回繰り返して確認した。

評価は Bell の評価基準¹⁶⁾ を参考に簡素化・数値化し、FM2.83 にて知覚を認めたものを正常知覚: 0 point, FM4.31 にて知覚を認めたものを中等度知覚鈍麻: 6 point, FM6.65 にて知覚を認めたものを高等度知覚鈍麻: 12 point, FM 6.65 で知覚を認めなかったものを知覚麻痺: 36 point とした (Table 2)。各計測点で 3 回の測定のうち最も高い point を採用し、d/e/f 3 部位の score の合計を S-W score とし、S-W score が 6 point 以上あれば『下歯槽神経知覚障害あり』とした。

4. 下歯槽神経知覚障害の治療法

顎間固定解除当日（術後 1 週）に S-W test を実施し、三叉神経第二枝および第三枝の支配領域に知覚鈍麻および感覚異常を自・他覚的に認めた症例は、当院のペインクリニックとの対診により Trigeminal nerve neuropathy の診断のもとに、ビタミン B12 製剤（メチコバル ®1500µg/day）の内服と近赤外線照射による温熱療法を施行した。症状が重篤な場合は星状神経節ブロック（SGB）または星状神経節近傍への Xe 照射（Xe-SGI）による理学療法を併用して症状の改善を図った。

5. CT の撮影と距離計測

CT の撮影は、手術の 3~4 週間前に GE Healthcare 社（Milwaukee）LightSpeed VCT®を用いて、ガレントを水平位に、被験者の咬合平面を床面と垂直に位置づけし、スライス幅 0.625mm にて上下顎骨を記録し、ワークステーション上のボリュームレンダリング画像において下顎骨三次元画像を構築し多断面再構成（Multi Planar Reconstruction：MPR）画像を作製、下顎管の走行部位に沿ってスライス画像を三次元構築した。

計測に先立ち、CT の MRP 画像と実測値との誤差を検証するために壁厚 12.5mm の中空の円柱模型を作成し、仰角 15° にて CT 撮影、中空模型の壁厚実測値と CT 上での計測値との誤差を計測した。模型実測値は、 $12.50 \pm 0.01\text{mm}$ 、MPR 画像上で壁厚の計測値は仰角： $12.55 \pm 0.06\text{mm}$ 、t 検定において有意水準 $p < 0.17$ で有意差は見られなかった。

CT の計測は、次の 3 カ所の断面にて行った。

Region F；下顎孔部

Region A：下顎角部

Region M：外側骨切り線相当部（第二大臼歯遠心部）

計測項目は、

a：下顎枝頬側皮質骨外側から下顎管外側壁までの距離、

b：下顎骨頬側皮質骨外側から下顎骨舌側皮質骨外側までの距離、

c：下顎骨頬側皮質骨幅径、

a-c：頬側皮質骨内側面から下顎管外側壁までの距離（下顎管頬側の海綿骨厚み）、

とした。

なお、Region A の設定は、下顎枝前縁と下顎の咬合平面との交点と、下顎枝後縁平面と下顎下縁平面との交点を結んだ断面とした（Fig.2）。

6. 検定方法

両群間の有意性の検定には、各計測値についての正規分布および等分布が認められることを確認したのちに Student *t* test, χ^2 検定を用いて解析し、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

結 果

1. CT の再構成画像による下顎枝の測定値の検討

術前に CT を撮影した 36 症例 72 側の下顎枝の各計測断面における外側皮質骨表面からの直線距離（頬舌的な距離）の平均値を Fig. 3, Table 3 に示す。

(1) a（下顎枝頬側皮質骨外側から下顎管外側壁までの距離）

Region M が 6.04mm と最も厚く、Region F と Region A は 4.66mm でほぼ同じ厚みであった（ $F=A < M$ ）。

(2) b（下顎骨頬側皮質骨外側から下顎骨舌側皮質骨外側までの距離）

Region F が 9.07mm, Region A が 10.15mm, Region M が 12.18mm で、下顎骨体に近い方が厚くなる傾向を認めた（ $F < A < M$ ）。

(3) c（下顎骨頬側皮質骨幅径）

Region F, Region A, Region M の 3 部位でほぼ同じ厚さ（2.11~2.45mm）を示した（ $F=A=M$ ）。

(4) a-c（頬側皮質骨内側面から下顎管外側壁までの距離）

Region A が 2.07mm と最も薄く、次いで Region F 2.54mm, Region M では 3.61mm と最も厚かった（ $A < F < M$ ）。

SSRO は、下顎枝の頬側皮質骨と下顎管外側海綿骨との間で分割するため、a-c が薄い Region A で下顎管を損傷する恐れが最も高く、Region M の骨切り部では、海綿骨が厚いため比較的安全であるということが示された。

2. 下顎枝頬側皮質骨表面から下顎管外側壁までの距離 a と各計測値 b, c, a-c との関係

下顎枝頬側皮質骨表面から下顎管外側壁までの距離 a が下歯槽神経知覚障害のリスクと関連することが予想されたため、a と他の計測距離 b, c, a-c との相関性を解析した。

Region F, Region A, Region M の 3 つの断面ともに、a と b および a-c との間に高い相関を示したが、c との相関係数は小さかった（Fig.4 (A)、(B)、(C)）。

下顎枝頬側皮質骨表面から下顎管外側壁までの距離が長いと、下顎枝の頬舌的な厚さが大きく海綿骨も厚い傾向があるという結果が示された。

以上に示した下顎枝の CT 上の計測値を前提として、以下の分析を行った。

3. 下歯槽神経知覚障害の経時的変化

SSRO で最も頻度の高い合併症である下歯槽神経知覚障害の程度を下唇・オトガイ部の S-W test により診査・評価した S-W score の平均とその経時的変化を Fig.5 に示す。知覚障害が片側のみ出現する場合と両側ともに出現する場合があるため、左右側別々に S-W score の数値を評価した。術後 1 週では、36 側 (50.0%) に知覚障害が出現していたが、経時的に減少し、12 週後には 17 側 (23.6%) に減少し、24 週後では 6 側 (8.3%) の患者に知覚障害が残存しているのみであった。S-W score の平均も同様に経時的に漸減していた (Fig.5)。

4. S-W score の経時的変化～神経露出の有無との比較～

研究対象の 72 側中 25 側 (34.7%) に術中の下歯槽神経血管束露出 (分割時に遠位骨片の分割面に下歯槽神経血管束が露出する現象) を認めた (Table. 1)。術中の神経血管束露出が術後の下歯槽神経知覚障害に関連するか否かを調べるため、神経露出した 20 側と非露出の 16 側の S-W score の経時的変化を比較した (Fig.6, Table 4)。

術中に神経露出すると明らかに S-W score が高く、術後の知覚障害が強いということが示された。術後 1 週では、下歯槽神経血管束露出群 (露出群) の S-W score の平均 39 point に対して、下歯槽神経血管束非露出群 (非露出群) では S-W score の平均は 15 point であったが、時間経過とともに S-W score の減少を認めた。術後 4 週までは両群間の S-W score に有意差を認める (術後 1 週 : $p<0.01$, 術後 2 週 : $p<0.01$, 術後 4 週 : $p<0.05$) ものの、術後 12 週 (約 3 か月) では有意差を認めず、術後 24 週 (約 6 か月) では両群とも 6 point 未満となっており、術中に下歯槽神経露出があっても知覚障害は遷延化することなく回復していた (Fig.6)。

5. 術中の下歯槽神経血管束露出と下顎骨計測値との関係

Region F, Region A, Region M での, a , b , c および a-c の平均値を露出群と非露出群とで比較した結果, Region F, A, M すべての部位で、露出群

において a , b , a-c が、統計的に有意に小さかった ($p<0.01$) (Table 5)。特に, Region F と Region A での差が大きく, Region A では, 非露出群 a: 5.03mm に対して露出群 a: 3.43mm, 非露出群 a-c: 2.59mm に対して露出群 a-c: 1.14mm であった (Table 5)。

Region F, Region A, Region M における a, b, c の平均値をグラフ化したものを Fig.7 (A)、(C) に示す。このグラフのそれぞれの線は Region F から Region A を経て Region M に至る下顎枝断面の形態を反映しており, Fig. 7(A)、(C) を基に下顎枝断面形態と下顎管の走行を模式化したものが Fig. 7, (B)、(D) となる。(B) が非露出群, (D) が露出群を示し, この模式図から露出群では非露出群より下顎管が頰側を走行し, Region A で頰側皮質骨に近接していた。

Region F と Region A で a が 3.5mm 未満, a-c が 2.0mm 未満の場合に神経露出のリスクが上がり, 骨の厚さが分割時の下歯槽神経血管束の露出の有無を左右することが示された (Table 5)。

6. 術後下歯槽神経知覚障害の出現と下顎骨計測値との関係

下歯槽神経知覚障害群 (知覚障害群) と下歯槽神経非知覚障害群 (非知覚障害群) とに分けて, Region F, Region A, Region M での, a , b , c および a-c を比較した結果, Region A では, a および a-c がいずれも知覚障害群 (a : 4.26mm, a-c : 1.92mm) の方が非知覚障害群 (a : 4.68mm, a-c : 2.22mm) よりも有意に小さかったが ($p<0.05$), Region F では, a-c が非知覚障害群 (a-c: 1.38mm) と比較して知覚障害群 (a-c: 1.68mm) で有意に大きく ($p<0.05$), a と b も有意差は認めないものの知覚障害群で大きかった (Table 6)。Region M では, いずれの計測値にも有意差は認めなかった。

7. 下歯槽神経血管束露出と下歯槽神経知覚障害との関係

下歯槽神経知覚障害と下顎枝の計測値の関係をさらに詳細に調べるために, 下歯槽神経知覚障害群を術後 12 週までに知覚障害の回復を認めた群 (回復群) と術後 12 週以後も知覚障害の残存を認めた群 (残存群) に分け, 非知覚障害群と比較した (Table 7)。Region A では, 3 群のうち, 残存群で a および a-c が最も小さく、非知覚障害群と回復群とを比較すると非知覚障害群の方が小さかった。Region F では, 非知覚障害群と残存群を比較すると有意差はないものの

非知覚障害群の厚みが小さかった。このことから知覚障害の程度は Region A での a および a-c が小さいほどリスクが上昇するが、術後 12 週以内に回復する知覚障害の発生要因は単なる骨の厚さではないことが示された。

術中に下歯槽神経血管束が露出した頻度は、残存群で 18 側中 10 側 (55.6%) と最も高く、露出群 25 側と知覚障害群 36 側との計測値を比較すると、a , a-c ともに知覚障害群の方が大きかった (Table 8)。a-c が比較的厚く、分割時に神経露出しないにもかかわらず下歯槽神経知覚障害を認めた症例が存在し、知覚障害の発生要因は下顎枝頬側皮質骨表面から下顎管までの距離や海綿骨の厚みのみの問題ではなく他の要因が関与している可能性が示された (Fig.8)。

8. 下歯槽神経障害症例の下顎管の走行

Table 5 と Table 6 との比較から、露出群と知覚障害群との間では Region F に差があった。このことを視覚化するために、Fig. 7 と同様に模式図を作製した (Fig.8 (A)、(B)、(C)、(D))。非露出群を示す Fig.8 (A) と (B) とを比較すると、知覚障害群と非知覚障害群との間に下顎管の走行の違いがみられる。つまり、知覚障害群では非知覚障害群に比べて Region F の a 値が大きく、下顎管の走行が下顎角部で屈曲する『く』の字型となることから、下顎管の走行形態が知覚障害の発現に影響する可能性が示された (Fig.9)。

この屈曲した走行を定量的に示すために、Region F (a) と Region A (a)、Region A (a) と Region M (a) の差を求め、Region A (a) の平均値で除した減少率 (Region F (a) - Region A (a) / Region A (a)、Region M (a) - Region A (a) / Region A (a)) を算出した (Table.9)。神経血管束露出の有無に関わらず知覚障害群で、Region A (a) が Region F (a) および Region M (a) よりも相対的に小さく、Region F から Region A にかけて外側へ向かう下顎管の走行、即ち『く』の字型の走行が SSRO 術後の下歯槽神経知覚障害に影響する可能性が示された。

考 察

SSROは下顎骨の発育異常による下顎前突症、下顎後退症あるいは顔面非対称などの顎変形症の手術方法として最も信頼できる術式として、世界中で最も汎用されている。遠位骨片の移動後に広い骨接触面積を確保して骨片間を骨接合するため、長期間の顎間固定を回避することができ、骨接合部の安定性が良好

で機能的回復が早いとされている。一方、矢状分割部における下歯槽神経血管束の走行などの解剖学的形態により下唇・オトガイ部の知覚異常を生じる危険性を有している。術後の下唇の知覚異常については、下顎孔の位置目安とされるAnti-lingual provenanceより後方で盲目的に垂直に骨切りを行うIVROの方が術中の下歯槽神経損傷の危険性が少ないとされている¹⁷⁾。

いずれにしても現在ではSSROとIVROの2つの方法が骨格性下顎前突症における顎矯正手術の術式の主流となっている。山内ら¹⁸⁾は、SSROとIVROを用いた骨格性下顎前突症に対する外科矯正手術を比較検討し、IVROにおける術後のオトガイ神経支配領域の知覚異常の出現率が有意に低く、大きな利点であると述べている。しかしながら、SSRO 施術数に比してIVRO 施術例があまりにも少なく母数が著しく異なることから、単純な比較には論拠が少ない。SSRO術後における下歯槽神経知覚障害の危険性が高いというリスクがあっても、近・遠位骨片の接触面積が広いこと、移動距離や移動範囲の許容範囲が大きいことなどの多くの有用性があるため、現在多くの施設において下顎における顎矯正手術の主流となっている。このため、SSRO おける術後の下歯槽神経知覚障害に関する検討が重要である。

SSRO における下歯槽神経知覚障害の原因に関する報告では、下顎管の位置、下顎枝分割の方法、骨移動量、骨接合方法、手術時間、出血量、後浮腫、血腫による下顎神経の圧迫など、多くの報告^{8),19)~23)}がある。

なかでも、Teerijoki-Oksaら²⁴⁾は、垂直方向に短い下顎枝形態と下顎下縁に近い下顎管走行との2点を下歯槽神経知覚障害のリスク因子として挙げている。Yamamoto ら²⁵⁾は下顎管と下顎枝の頬側皮質骨との距離が0.8mm以下であることが下歯槽神経知覚障害を招くとしている。Yamauchi ら²⁶⁾も同様に下顎管と下顎枝の頬側皮質骨の間の海綿骨の厚みが重要だとしている。

一方、Kuroyanagi ら²⁷⁾は、下歯槽神経知覚障害のリスク因子として、下顎孔と下顎切痕との距離が15mm以下であること、さらに分割された外側骨片と内側骨片との間隙が広いと下歯槽神経が伸展されて知覚障害が出やすいとしている。その他に、下顎孔伝達麻酔・オトガイ孔付近の浸潤麻酔による下顎神経・オトガイ神経の損傷、下顎枝内側剥離の際に下顎孔部で起こる下歯槽神経血管束の損傷、プロゲニーハーケンを下顎枝内側へ挿入する際の下歯槽神経血管束の損傷、下顎骨体部の骨膜剥離の際のオトガイ神経の損傷、矢状分割時のマイセリングの方向など手術時の器械操作による直接的な神経損傷などが考えられ

る⁸⁾。また、高桜²⁸⁾は、術中操作が術後の知覚麻痺に及ぼす影響を検索するために三叉神経感覚誘発電位 (Trigeminal Somatosensory Evoked Potential : TSEP) を測定した結果、軟組織を剥離した時点から末梢神経の一過性局在性伝導障害を引き起こすと述べている。

SSROでは、下顎枝頰側皮質骨内面と下顎管外側壁との間の海綿骨を分割するため、この部位が薄いとそれだけ下歯槽神経への物理的な衝撃が大きく、下歯槽神経知覚障害が生じやすいと考えられる。Yoshidaら²²⁾の報告では、術前CTにおける下顎管側壁から頰側皮質骨の中間までの距離が、重度な知覚麻痺症例の91%で1.2mm以下であったとしており、Tamas¹⁹⁾は、乾燥下顎骨を用いた単純X線により下顎管と下顎枝外側皮質骨との間に海綿骨が認められないものが19.51%あり、知覚神経麻痺の可能性があるためにSSROの適用は禁忌であると報告している。本研究でも同様に、下顎枝頰側皮質骨内面と下顎管外側壁との間の海綿骨の厚さが2.0mmより小さいと術後の下歯槽神経知覚障害のリスクが大きくなるという結果 (Table 6) が得られた。aとa-cは、Region A で最も薄く (Table 3), 下顎角部の分割の際に最も注意する必要性があることが示唆された。

また、術中の下歯槽神経血管束の露出と下歯槽神経知覚障害とを比較検討した。術中の下歯槽神経血管束露出を対象にした研究報告はこれまでに無く、本研究の特色の1つである。本施設では、手術記録に術中の下歯槽神経血管束露出の有無を記載し、露出を認めたケースにおいては、対側骨片 (近位骨片) の分割面に付着した海綿骨および神経血管束を被覆する筒状の骨皮質の存在によって直接的な神経損傷が危惧されるため、近位骨片の海綿骨面が平滑になるように可及的に削合し、下歯槽神経血管束への直接的な侵襲防止策を施している。術中に下歯槽神経血管束が露出するだけで神経への直接的な機械的刺激が強いことが推察され、神経露出群では、S-W score が有意に高く下歯槽神経知覚障害の症状が強く認められた (Table 4、Fig.6)。しかし、術後24週では、露出群・非露出群ともに S-W scoreの平均は6 point未満となり、術中に下歯槽神経血管束の露出を認めても、術後の下歯槽神経知覚障害は遷延化することなく回復を認めた。このことより、術中の下歯槽神経血管束の露出は、短期的には術後の下歯槽神経知覚障害の症状が重篤化する修飾因子であるが、術後に下歯槽神経知覚障害を認めなかったケースも存在し、長期的な下歯槽神経知覚障害のリスクとはならない可能性が考えられた。

露出群と非露出群とでa-cを比較すると、非露出群2.59mm、露出群1.14mmと露出群の方が薄いため分割時に下歯槽神経血管束の露出をきたし、外来刺激による下歯槽神経知覚障害が発生しやすいと考えられる。

その一方で、Table.8では、a-cとaにおいて知覚障害群の方が露出群よりも厚いという結果となり、骨の厚みや神経の露出だけが下歯槽神経知覚障害の原因ではないことが示唆された。

下顎枝矢状分割術中の下歯槽神経知覚障害の要因を考察する上で、下顎管の走行を視覚化するためにFig.9 (D)を作成すると、知覚障害群では下顎管の走行が下顎角部において外側に凸の屈曲した「く」の字型となり、このような走行となる原因は、Region Fにあることが考えられた。Region Fのa-cを比較すると、非知覚障害群 2.38mmに対して、知覚障害群 2.68mmと、後者が有意に厚かった (Table 6)。反対に、Region Aでのa-cは、非知覚障害群 2.22mmに対して、知覚障害群 1.92mmと前者が厚かった。a-cがRegion Fで厚く、Region Aで薄いことが「く」の字型になる原因であると考えられ、Region FとRegion Aでのaの測定値の差が、下歯槽神経知覚障害の発生に影響している可能性が示唆された (Region F (a)–Region A (a) : 非知覚障害群 0.16mm < 知覚障害群 0.76mm) (Table 9)。

このような屈曲した下顎管の走行が下歯槽神経知覚障害をもたらすのは、下顎枝の形態に起因するものと考えられるが、「く」の字の屈曲部、すなわち海綿骨が最も薄いRegion Aに下顎枝分割時の応力が集中しやすく物理的な力が強くかかってしまうことが考えられ、この点を明らかにするために、下顎管の走行を変えた下顎骨の模型を作製し、応力分布を解析する必要があると考えられた。

一般に神経障害は、Seddonの末梢神経損傷程度における3分類²⁹⁾ (一過性局在性伝導障害 (Neurapraxia), 軸索離断 (Axonotmesis), 神経離断 (Neurotmesis)) と、知覚異常の症状 (痛覚過敏 (Hyperalgesia), アロデニア (Allodynia), 異常感覚 (Dysesthesia), 錯感覚 (Paresthesia), 知覚鈍麻 (Hypoesthesia)) とを併せて考慮し、末梢神経がどの程度損傷されているかを的確に把握することが重要であり、神経損傷が疑われた場合には早期 (遅くとも術後1~2週) に治療を開始することで損傷を最小限に食い止める必要があるとされている^{30),31)}。

下歯槽神経知覚障害の治療法として、薬物療法、理学療法、神経ブロックお

よび手術療法がある。神経切断の場合は神経縫合や神経移植などの手術療法を行わなければ回復が望めないため手術療法の適応となるが、神経非活動、軸索切断の場合は、薬物療法、理学療法および神経ブロックが積極的に行われており、患者の神経損傷がどこに分類されるかを早期に判断し治療法を選択する必要がある。当科では、術後の腫脹がある程度軽減した時点（術後7日）で顎間固定を解除するとともに、症状の聴取、両側オトガイ神経支配領域のSW test と二点識別域検査（TPD）を施行している。自・他覚的に知覚異常を認めた全症例を対象に当院ペインクリニックと対診しTrigeminal nerve neuropathyの診断を得た症例に対しては、薬物療法として核酸・タンパク合成の促進、軸索内輸送や軸索再生の促進、髄鞘形成の促進、シナプス伝達の遅延や神経伝達物質の減少を回復させる効果を期待してビタミンB₁₂製剤（メチコパール® 1500µg/day）の投与と併せて、理学療法として近赤外線照射を施行している。

症状が強く認められ、患者の同意が得られたものに対しては、頸部交感神経節である星状神経節に局所麻酔薬によるSGBを施行、同意が得られなかった場合はSGBと同様の効果^{32)~34)}を期待しキセノン光によるXe-SGIを施行している。全症例に対して術後2週（退院時）、4週（術後1か月経過観察時）、12週（術後3か月経過観察時）、24週（術後6か月経過観察時）の定期的経過観察時に同一術者によりS-W testを施行し予後の判定を行っている。

今回の結果において、Fig. 5 に示したように、S-W testにて術後1週で36側（50%）が中等度知覚鈍麻～知覚脱失を示していたものの、全症例において経時的に回復傾向を示し、術後24週では72側中6側（8.3%）にParesthesiaおよびHypoesthesiaを残す程度まで回復を認めた（回復率:91.7%）。佐々木ら⁸⁾は、術後1年で70.8%、Yoshidaら²²⁾85%、妹尾ら³⁵⁾94%といずれも高い確率での回復を示している。

神経損傷後の回復期における自覚症状は、Dysesthesia から Paresthesia, Hypoesthesia を経て通常感覚に回復すると考えられており³⁶⁾、今回の結果でも同様の経過をたどって回復傾向を示していたが、感覚異常の質や程度は他覚的な評価と自覚的な評価で乖離しているとの報告³⁷⁾と同様に、自験例でも神経生理学的な症状（自覚症状）と神経損傷の病理学的所見（他覚症状）とが一致しないケースを認め、S-W testでは正常知覚の指標³⁸⁾とするFM2.83が触知可能であったが、触られたときのみピリピリとした感覚を覚えるParesthesiaを訴えるものが認められた。これは、諸家の報告³⁸⁾と同様に、S-W testでは静的感

覚のみを観察しているため、特に知覚障害が軽度の場合や障害の回復が間近な場合には自覚症状と対応しないという事象を認め、神経線維の神経核の違いによる回復の早さの差、すなわち中枢における神経インパルスの受容パターンが神経損傷前と異なったために、これを新しい感覚メッセージに置き換える過程が新たに生じている可能性があり注意を要すると考えられた。

知覚障害の客観的な評価法には、静的触圧覚検査として、TPDやS-Wテスト、動的触圧覚検査としての振動覚検査、Quantitative Sensory Testing (QST) などの温冷覚検査、TSEPなどの体制感覚誘発電位検査など^{39),40)}があり、知覚障害の程度を客観的に把握する方法として臨床に広く利用されている。

しかしながら、単一の検査方法では、S-W pressure anesthesiometerは装置の入手が容易で日常診療において手軽に検査が可能であり、再現性が高くすでに規格化されているという点において有用である。その一方で、Visual Analogue Scale (VAS)にて自覚症状を聴取し、振動覚検査法などの動的感覚検査、TSEPなどの体制感覚誘発電位検査といった複数の検査方法を併用して施行し、よりの確に神経障害程度を把握し経時的な症状回復の評価をし、継続的に治療を行う必要性があろう。

当院では、2011年4月より、皮膚の厚さ、体温、組織の浮腫などにほとんど影響されずに高い再現性を示し、非侵襲的で知覚機能を客観的かつ定量的に測定可能な電流感覚閾値検査 (Current Perception Threshold: CPT)^{41),42)}を施行し、Trigeminal nerve neuropathyの詳細な診断をしており、今後は、患者の自覚症状 (VAS)、静的触圧覚検査としてS-W test, CPTの三者を併用してSSRO術後の下歯槽神経知覚異常を定量的に評価・検討することが必要であると考えられた。

高桜²⁸⁾は、術中の各段階でTSEPを測定し、SSRO施行によるオトガイ領域の知覚麻痺は骨膜剥離後より生じ、骨分割直後、骨片固定後の各段階に生じていたとし、松田⁴³⁾は、家兎を用いた動物実験において、下歯槽神経血管束が露出しただけでもSeddonの3分類³²⁾、Neurapraxia, Axonotmesis, Neurotmesisのうち、NeurapraxiaとAxonotmesisの中間型損傷を引き起こすと述べている。

また、染矢ら³⁷⁾は、下顎の外科的矯正術では一過性の軽微な症状を含めるとほとんどの症例で感覚異常が発生しており、完全な感覚麻痺が長期間残存した重度の神経損傷も多く認め、CTなどを用いた詳細な検査と慎重な手術操作が要求され、術直後からの積極的治療が必要であると述べている。鍛冶ら⁴⁴⁾は、術前

のCTを用いて下顎枝頬側皮質骨内側～下顎管周囲骨硬化部との間の状態により遊離型・接触型・融合型の3型に分類し知覚麻痺との関連を検討し、術後1年の知覚麻痺残存率を遊離型では19%、接触型では64%、融合型では84%であったと報告している。自験例においても、頬側皮質骨内側面～下顎管外側壁の距離a-cが1.0mm以下のものが、Region Fで11側（15.3%）、Region Aでは24側（33.3%）、Region Mでは3側（4.2%）に認められ（Fig. 3）、そのほとんどにおいて術中に下歯槽神経血管束の露出を認めた。

術後に下歯槽神経知覚異常が認められたものにおいて、Region Aでのa-cが短いという傾向が強く、下歯槽神経血管束がRegion F～Region A～Region Mにかけて「く」字型の屈曲した走行を呈している場合では、より慎重な手術操作（特に下歯槽神経血管束を損傷しないような愛護的な分割操作）を行うことが重要であると考えられた。

自験例では、程度の違いはあるものの、72側中36側（50.0%）にSSRO術後の下歯槽神経知覚異常が発生しており、術後の継発症に関する術前のインフォームド・コンセントにも十分配慮し、患者とのより良好な関係を形成すべきであると考えられた。

なお、患者下顎骨の実測値とMPR画像上の計測値との誤差は、このような研究での課題となっており、CTのスライス面は任意のため大きさの異なる個体でのMPR画像上での計測距離には誤差が生ずると考えられている。内藤ら⁴⁵⁾は、乾燥頭蓋骨での実測長とMPR画像上での距離の比較では、有意差を認めず、その誤差も少ないことを示していたと述べているが、本研究の予備検証において、仰角15°で撮影したMPR画像では実測値との有意差はないものの実測値よりわずかながら大きく描出される傾向が認められ、被験者の頭位を規格化しより実体との誤差の少ないMPR画像上で下顎管の走行を評価する必要性が考えられた。この点に関しては症例を重ね、今後も検討していく予定である。

謝辞

稿を終わるに臨み、本研究に貴重な多くのご助言、ご協力を頂きました口腔外科学分野教室ならびに画像診断学分野教室員の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) White RP, Peter PB, Costich ER, Page HI : Evaluation of sagittal split-ramus osteotomy in 17 patients. J Oral Surg 1969 ; 27 : 851-855.
- 2) Wang JH, Wait DE : Evaluation of the surgical procedure of sagittal split osteotomy of the mandibular ramus. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1974 ; 38 : 167-180.
- 3) Compbell RL, Shamaskin RG, Harkins SW : Assessment of recovery from injury to inferior alveolar and mental nerves. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1987 ; 64 : 519-526.
- 4) Martis, C.S.: Complications after mandibular sagittal split osteotomy. J Oral Maxillofac Surg 1984 ; 42 : 101-107.
- 5) 道健一, 吉田広 : 下顎枝斜矢状切離咬合改善術とその術後評価.—第一報 手術法と術中・術後の合併症—. 日口外誌 1985 ; 31 : 1569-4577.
- 6) Macintosh, R.B : Experience with the sagittal osteotomy of the mandibular ramus: a 13-year review. J Max-fac Surg 1981 ; 8 : 151-165.
- 7) Freihofer, H.P.M. Petresevic, D : Late results after advancing the mandible by sagittal splitting of the ramus. J Max-fac Surg 1975 ; 3 : 250-257.
- 8) 佐々木研一, 正木日立, 三宅 晋 : 下顎骨変形症手術後における下歯槽神経麻痺の回復過程に関する臨床的研究. 日口外誌 1986 ; 32 : 1139-1147.
- 9) Martis CS : Complications after mandibular sagittal split osteotomy. J Oral Maxillofac Surg 1984 ; 42 : 101-107.
- 10) Broadbent TR, Woolf RM : Our experience with sagittal split osteotomy for retrognathia. Plast Reconstr Surg 1977 ; 60 : 860-867.
- 11) Takeuchi T, Furusawa K, Hirose I : Mechanism of transient mental nerve paraesthesia in sagittal split mandibular ramus osteotomy. Br J Oral Maxillofac Surg 1994 ; 32 : 105-108.
- 12) Westermarck A, Bystedt H, von Konow L : Inferior alveolar nerve function after sagittal split osteotomy of the mandible correlation with degree of intraoperative nerve encounter and other variables in 496 operations. Br J Oral Maxillofac Surg 1988 ; 36 : 429- 433.
- 13) Obwegeser H : The indications for surgical correction of mandibular deformity by sagittal splitting technique. Br J Oral Surg 1968 ; 1: 157-169.

- 14) 口腔顔面神経機能学会：口腔領域感覚異常の診断基準について. 口腔顔面神経機能学会会報. 2002 ; 5 : 10-16.
- 15) Werner, J. L. and Omer, G. E : Evaluating cutaneous pressure sensation of the hand. *J.Occup. Ther* 1970 ; 24 : 347-356.
- 16) Bell J.A : Sensibility evaluation. In *Rehabilitation of the Hand*. 1 st Ed, CV Mosby, St Louis 1978 ; 273-291.
- 17) 川村 仁：下顎骨の変形に対する口内法による下顎枝垂直骨切り術. *日口外誌* 1988 ; 34 : 88-97.
- 18) 山内健介, 金氏 毅, 野上晋ノ介：骨格性下顎前突症に対する下顎枝矢状分割術 (SSRO) と下顎枝垂直骨切り術 (IVRO) の比較検討について. *日顎変形誌* 2010 ; 20 : 205-210.
- 19) Tamas F : Position of the mandibular canal. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1987 ; 16 : 65-69.
- 20) Pratt CA, Tippett H, Barnard JDW, Birnie DJ : Labial sensory function following sagittal split osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1996 ; 34 : 75-81.
- 21) Paulus GW, Steinhäuser EW : A comparative study of wire osteosynthesis versus bone screw in the treatment of mandibular prognathism. *Oral Surg* 1987 ; 54 : 20-26.
- 22) Yoshida T, Nagamine Y, Kobayashi T, Michimi N, Nakajima T, Sasakura H, Hanada K : Impairment of the inferior alveolar nerve after sagittal split osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg* 1989 ; 17 : 271-278.
- 23) 伊藤正志：顎変形症を伴う顎関節症患者における下顎枝垂直骨切り術の臨床評価とMRIによる検討. *日口外誌* 2001 ; 47 : 49-51.
- 24) Teerijoki-Oksa T, Jääskeläinen SK, Forssell K, Forssell H, Vähätalo K, Tammissalo T, et al : Risk factors of nerve injury during mandibular sagittal split osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002 ; 31: 33-39.
- 25) Yamamoto R, Nakamura A, Ohno K, Michi KI : Relationship of the mandibular canal to the lateral cortex of the mandibular ramus as a factor in the development of neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2002 ; 60 : 490-495.
- 26) Yamauchi K, Takahashi T, Kaneuji T, Nogami S, Yamamoto N, Miyamoto I, et al : Risk factors for neurosensory disturbance after bilateral

- sagittal split osteotomy based on position of mandibular canal and morphology of mandibular angle. *J Oral Maxillofac Surg* 2012 ; 70 : 401-406.
- 27) Kuroyanagi N, Miyachi H, Ochiai S, Kamiya N, Kanazawa T, Nagao T, Shimozato K : Prediction of neurosensory alterations after sagittal split ramus osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013 ; 42 : 814-822.
- 28) 高桜大輔 : 下顎枝矢状分割術後におけるオトガイ領域知覚神経麻痺の発生要因に関する臨床的研究. *金沢大学十全医学会誌* 2001 ; 110 : 210-226.
- 29) Seddon HJ : Three type of nerve injury. *Brain* 1943 ; 66 : 237-288.
- 30) 神野成治 : 歯科治療後の三叉神経麻痺の検討. *日麻酔誌* 1994 ; 23 : 466-474.
- 31) 瀬尾憲司, 田中 裕, 松井 宏, 染谷源治 : 外科矯正術による末梢性三叉神経損傷後の知覚障害とその回復過程の検討. *日麻酔誌* 2002 ; 30 : 69-81.
- 32) 堀 亨一, 小林 巧, 村上敏史 : 星状神経節近傍に対するキセノン照射の効果. *北海道理学療法* 2001 ; 18 : 46-50.
- 33) 佐伯 茂 : 光線療法機器. *医療器械学* 2005 ; 75 : 95-102.
- 34) 佐伯 茂, 朝野宏子, 針谷 伸 : 低出力レベルレーザーによる痛みの治療. *ペインクリニック* 2005 ; 26 : 791-801.
- 35) 妹尾明寛, 熊澤 康雄, 内田 稔 : 顎矯正手術の下顎枝矢状分割法における術後オトガイ領域知覚異常の経時的変化に関する研究 *歯学* 1995 ; 83 : 190-212.
- 36) 松田康男 : 下歯槽神経活動電位に対する神経損傷の影響 第2編 臨床的研究. *歯科学報* 1980 ; 80 : 1591-1611.
- 37) 染矢源治, 瀬尾憲司, 田中 裕, 豊里 晃, 山崎由美子 : 三叉神経の損傷と治療. *新潟歯学会誌* 2002 ; 32 : 1-9.
- 38) 高久勇一郎, 高崎義人, 藤田佳子, 大山定男, 瀬田修一, 葉山葉子, 他 : SW知覚テスターによるオトガイ神経支配領域の知覚検査—19歳から29歳の基準値—. *日口科誌* 2008 ; 57 : 19-24.
- 39) 藤川真紀, 野間弘康, 高崎義人 : 下顎枝矢状分割術後の知覚障害に関する臨床研究. *日口外誌* 2001 ; 47 : 17-28.
- 40) 江口智明, 高戸 毅, 森 良之 : 下顎枝矢状分割術後おとがい神経麻痺の臨床的検討. *形成外科* 2002 ; 48 : 37-143.
- 41) 坂本英治, 椎葉俊司, 今村佳樹 : ニューロメーターを用いた外傷性三叉神経ニューロパシーの病態評価について. *Pain Res* 2001; 16 : 57-62.

- 42) 岩出宗代, 福内明子, 棕棒由紀子: 疼痛患者における星状神経節ブロック後の皮膚電流知覚閾値の変動. ペインクリニック 1998;19:581-584.
- 43) 松田康男: 下歯槽神経活動電位に対する神経損傷の影響. 第1編 家兎に於ける実験的研究. 歯科学報 1980;80:1267-1281.
- 44) 鍛冶昌孝, 大橋靖: 下顎枝矢状分割術後の長期下唇知覚麻痺に関する研究-第2報 CTによる下顎管の位置の検討-. 新潟歯学会誌 1998;28:7-13.
- 45) 内藤宗孝, 勝又明敏, 野原栄二, 泉雅浩, 大崎千秋, 有地榮一郎. インプラント画像診断におけるマルチスライスヘリカルCTの有用性 ダブルオブリーク断面再構築画像について. 日本口腔インプラント学会誌 2005;18(2):280-4.

Table 1 Contents of cases.

	No. of cases (No. of sides)	IAN damage		No. of IAB exposure (%)	Male / Female	Mean age (y)
		No. of sides (%)	S-W score			
SSRO	6 (12)	7 (19.4%)	7.5	1 (8.3%)	4 / 2	25.2
LeFort I +SSRO	30 (60)	29 (48.3%)	15.2	24 (40.0%)	7 / 23	22.3
Total	36 (72)	36 (50.0%)	14.1	25 (34.7%)	11 / 25	24.8

IAN: inferior alveolar nerve, IAB: inferior alveolar bundle, SSRO: sagittal splitting ramus osteotomy, Le Fort I: Le Fort I osteotomy.

Table 2 Evaluation for IAN damage with S-W test.

Criteria for IAN damage with S-W test

Filament marking (FM)	Evaluation	Score
Non sensation with FM6.65	Anesthesia	36
Sensation with FM6.65	Severe hypoesthesia	12
Sensation with FM4.31	Moderate hypoesthesia	6
Sensation with FM2.83	Normal sensation	0

Table 3 Measured values each mandibular in three sections.

Mean±SD (mm)	a: Bucco-canal	b: Ramus thickness	c: Buccal cortex	a-c: Bone marrow
Region F	4.66±1.48	9.07±1.56	2.11±0.43	2.54±1.40
Region A	4.66±1.72	10.15±2.01	2.42±0.52	2.07±1.58
Region M	6.04±1.53	12.18±1.81	2.45±0.48	3.61±1.54

p<0.05*(Student *t*-test)
p<0.01**

Table 4 Comparison of S-W test score between the cases with/ without IAB exposure.

Without IAB exposure						With IAB exposure					
Duration	1W	2W	4W	12W	24W	Duration	1W	2W	4W	12W	24W
S-W score (mean \pm SD)	14.70 \pm 9.14	13.20 \pm 7.69	7.80 \pm 8.14	5.40 \pm 7.28	2.70 \pm 6.59	S-W score (mean \pm SD)	39.33 \pm 32.26	25.67 \pm 12.26	13.67 \pm 11.80	6.00 \pm 8.00	2.67 \pm 6.59

p<0.05*(Student *t*-test)
p<0.01**

Table 5 Comparison of mandibular thickness between the cases with and without IAB exposure.

Measurement (mm)	IAB exposure	Region F	Region A	Region M
a: Bucco-canal	no	5.16±1.35	4.66±1.72	6.04±1.53
	yes	3.37±1.26	3.43±1.32	5.36±1.63
b: Ramus thickness	no	9.49±1.53	10.70±1.96	12.82±1.60
	yes	8.32±1.32	9.20±1.75	11.08±1.50
c: Buccal cortex	no	2.12±0.42	2.48±0.51	2.49±0.50
	yes	2.11±0.46	2.32±0.52	2.37±0.43
a-c: Bone marrow	no	3.03±1.25	2.59±1.52	3.95±1.56
	yes	1.67±1.22	1.14±1.23	3.00±1.31

p<0.01** (Student *t*-test)

Table 6 Comparison of mandibular thickness between the cases with/without IAN damage.

measurement (mm)	IAN damage [#]	Region F	Region A	Region M
a: Bucco-canal	No	4.51±1.15	4.68±1.60	6.22±1.95
	Yes	4.80±1.70	4.26±1.74	5.87±1.26
b: Ramus thickness	No	8.84±1.21	9.29±2.03	12.39±1.36
	Yes	9.28±1.79	10.40±1.96	12.00±2.13
c: Buccal cortex	No	2.12±0.49	2.50±0.58	2.61±0.46
	Yes	2.11±0.37	2.37±0.51	2.31±0.46
a-c: Bone marrow	No	2.38±1.18	2.22±1.48	3.65±1.42
	Yes	2.68±1.56	1.92±1.66	3.57±1.65

[#] IAN damage is defined as more than 6 points of S-W score at 1 week after surgery

p<0.05* (Student *t*-test)

Table 7 Mandibular thickness measurements of the cases with IAN damage versus with IAN damage persisting for more than 12 weeks.

		IAN damage(+)			Total
		IAN damage(-)	Recovered within 12W	Persisting more than 12W	
No. of side (%)		37 (51.4%)	17 (23.6%)	18 (25.0%)	72 (100%)
No. of side IAN exposure (%)		8 (21.6%)	7 (41.2%)	10 (55.6%)	25 (34.7%)
a: Bucco-canal distance (mm)	Region F	4.51±1.15	5.00±1.86	4.58±1.48	4.66±1.48
	Region A	4.68±1.60	4.84±1.86 *	3.74±1.48 *	4.66±1.72
	Region M	6.22±1.95	5.90±1.83	5.85±1.38	6.04±1.53
a-c: Bone marrow thickness (mm)	Region F	2.38±1.18	2.84±1.77	2.49±1.28	2.54±1.40
	Region A	2.22±1.48	2.29±1.80 *	1.65±1.92 *	2.07±1.58
	Region M	3.65±1.42	3.56±1.91	3.58±1.29	3.61±1.54

p<0.05**(Student *t*- test)

Table 8 Comparison of mandibular thickness measurement between IAB exposure and IAN damage.

	Region F		Region A	
	IAB exposure(+)	IAN damage(+)	IAB exposure(+)	IAN damage(+)
a: Bucco-canal distance (mm)	3.78	4.80	3.43	4.26
	└───┘ *		└───┘ *	
a-c: Bone marrow thickness (mm)	1.67	2.68	1.14	1.92
	└───┘ *		└───┘ *	

p<0.05* (Student *t*-test)

Table 9 Decreasing rate of bucco-canal distance from Region F to Region A, from Region A to Region M

		Region F (a)	F(a)- A(a) / A(a)	Region A (a)	M(a) -A(a) / M(a)	Region M (a)
IAB Exposure(+) (mm) n=47	IAN damage(+) n=29	3.85 ±1.28	0.135	3.33 ±1.24	0.373	5.31 ±1.27
	IAN damage(-) n=18	3.62 ±1.21	-0.002	3.68 ±1.46	0.328	5.48 ±1.57
IAB Exposure(-) (mm) n=25	IAN damage(+) n=8	5.87 ±1.52	0.065	5.49 ±1.58	0.191	6.54 ±1.76
	IAN damage(-) n=17	4.71 ±0.98	-0.006	4.74 ±1.64	0.255	6.36 ±1.28

p<0.01** (Student *t*-test)

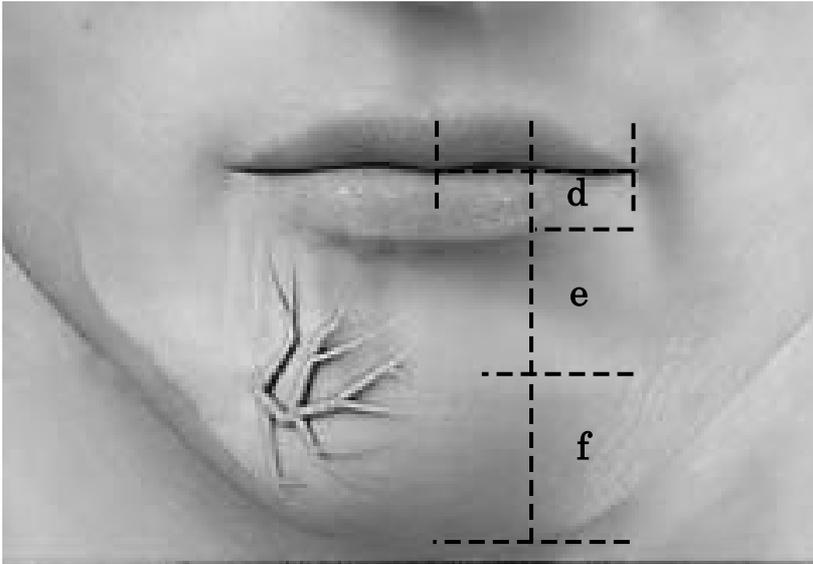


Fig.1 The area evaluated for mental nerve sensory dysfunction.
d: vermillion of lower lip, e: upper half of mental region, f: lower half of mental region.

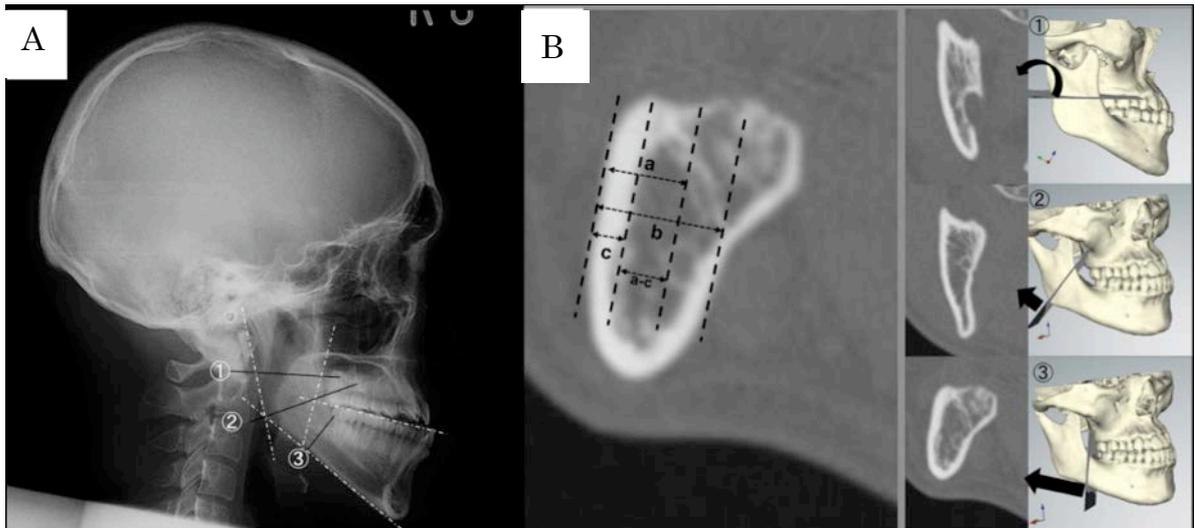


Fig.2 Measurement of mandible on 3-dimensional CT images

(A) The lateral chepharogram showing the cross sections measured on reconstructed CT. ① Region F: section passing the mandibular foramen, ② Region A: section passing mandibular angle, ③ Region M: section passing distal region of lower 2nd molar.

(B) Reconstructed CT section used for liner measurement. a: distance between buccal surface of mandible and mandibular canal (mm), b : bucco-lingual thickness of the ramus (mm), c: thickness of the buccal cortex of the mandible (mm), a-c: thickness of the bone marrow between the inner surface of cortex and mandibular canal (mm).

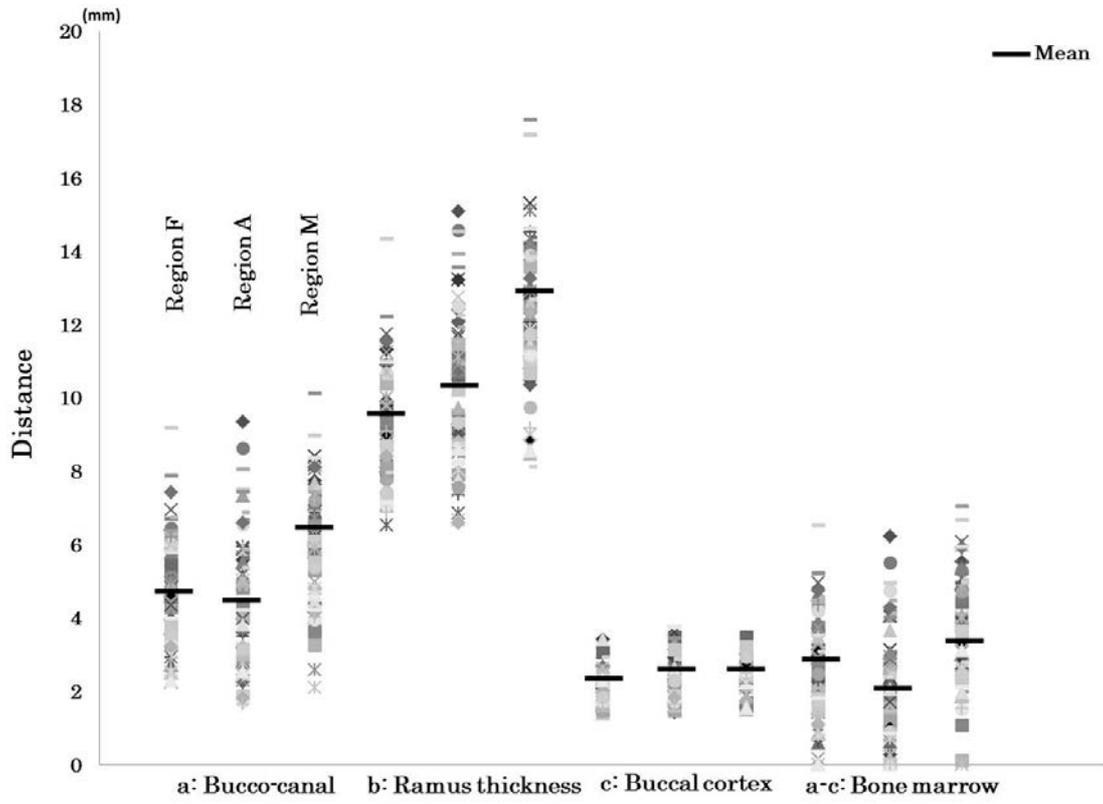
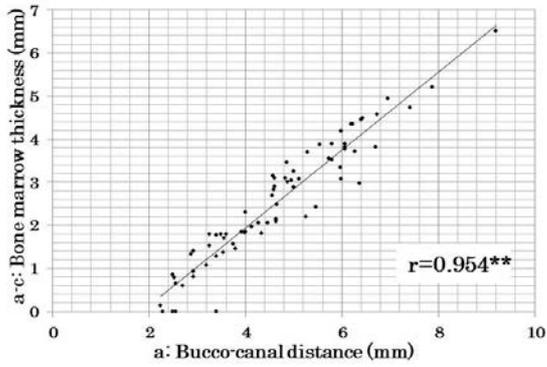
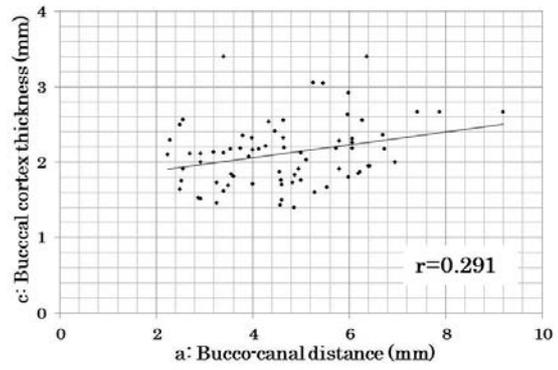
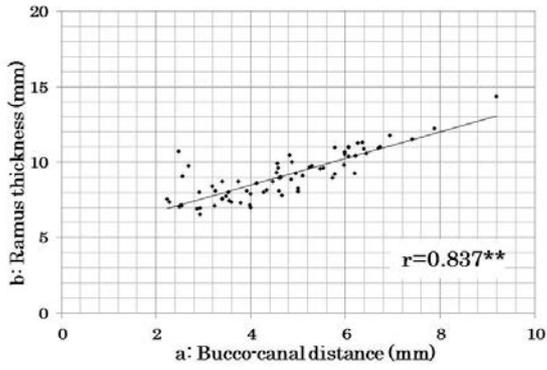


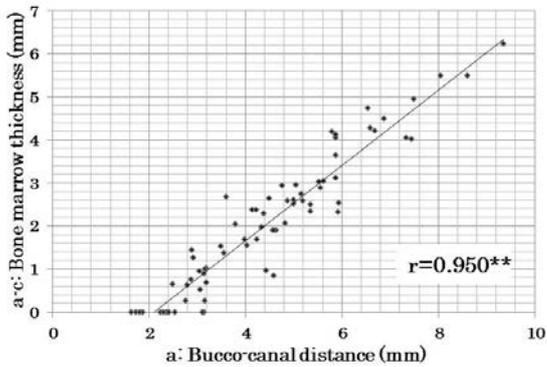
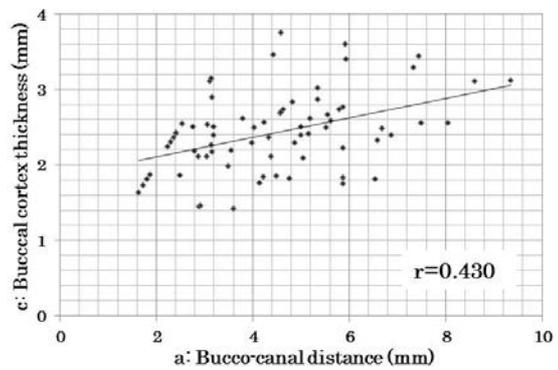
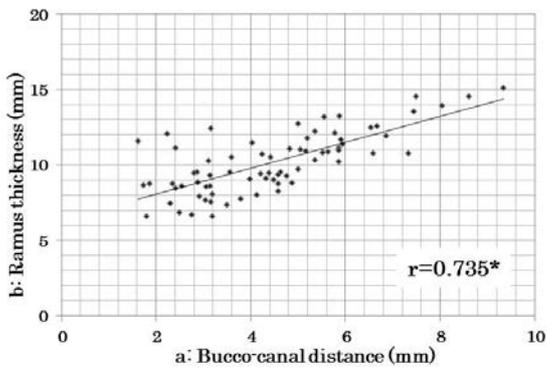
Fig.3 Measurement result of four liner distances in three cross section of mandible.

(A) Region F



* $0.4 \leq r < 0.7$
 ** $0.7 \leq r$

(B) Region A



* $0.4 \leq r < 0.7$
 ** $0.7 \leq r$

(C) Region M

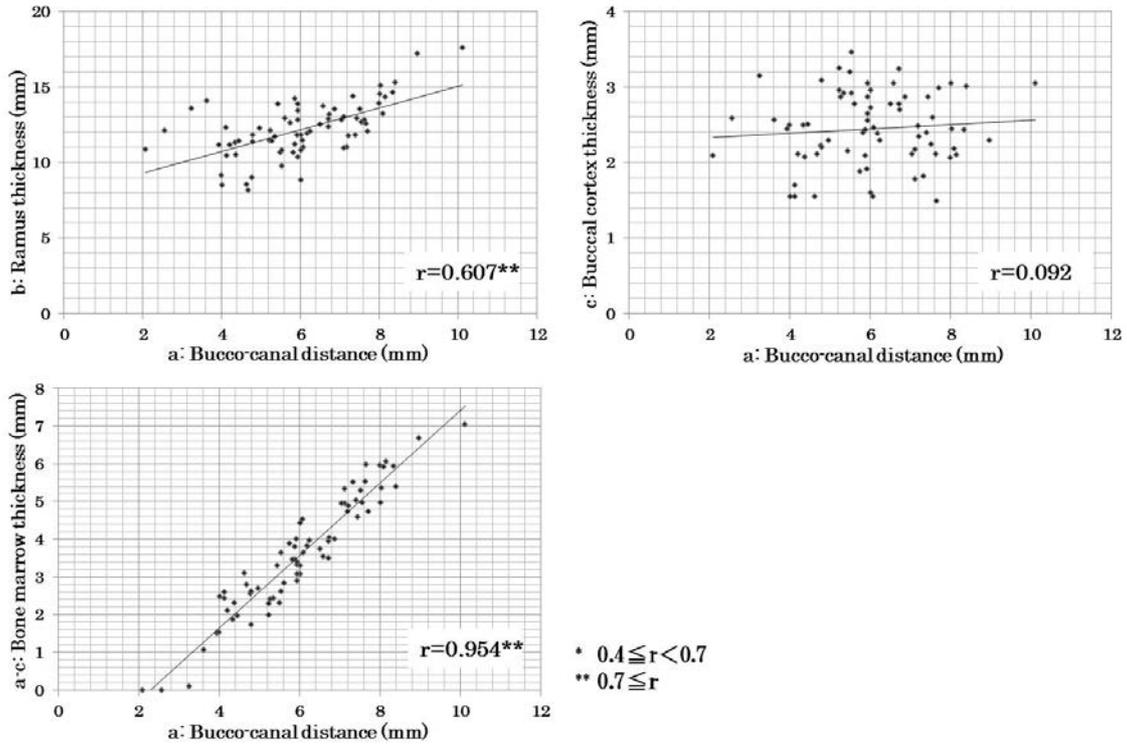


Fig.4 Relationship between bucco-canal distance (a) and other measurement (b, c, a-c) in three cross section.

- (A) Distribution of four measurements at Region F.
- (B) Distribution of four measurements at Region A.
- (C) Distribution of four measurements at Region M.

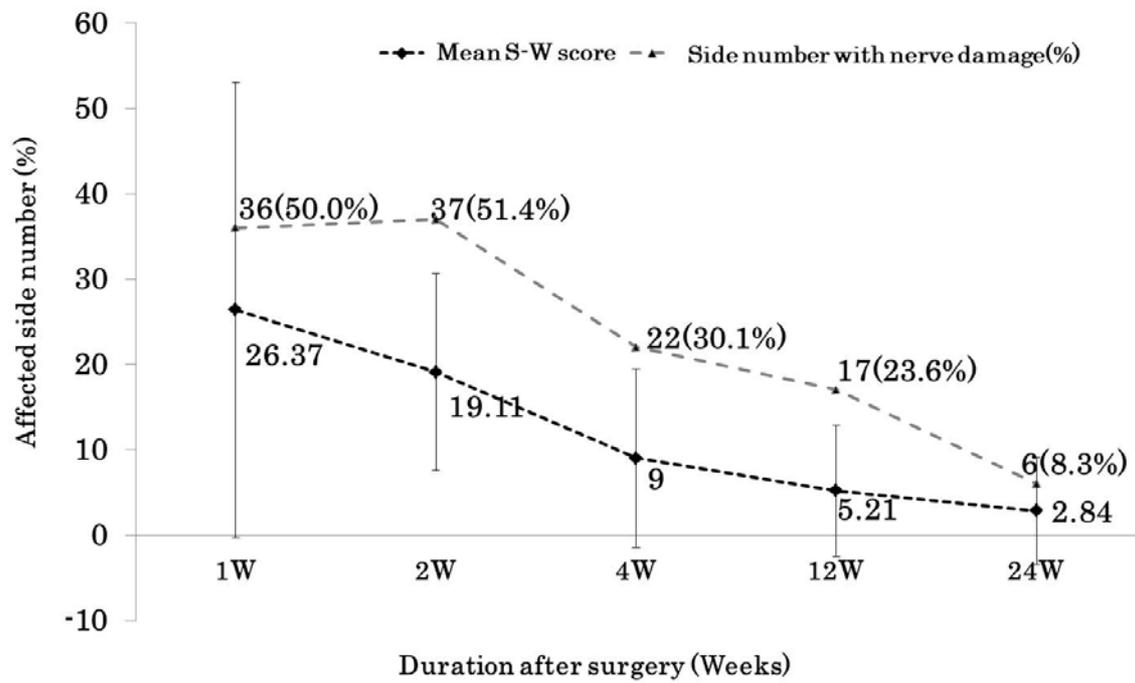


Fig.5 Changes with time in numbers of affect side with IAN damage and their S-W score.

IAN damage is defined as more than 6 points with S-W test at 1 week after surgery.

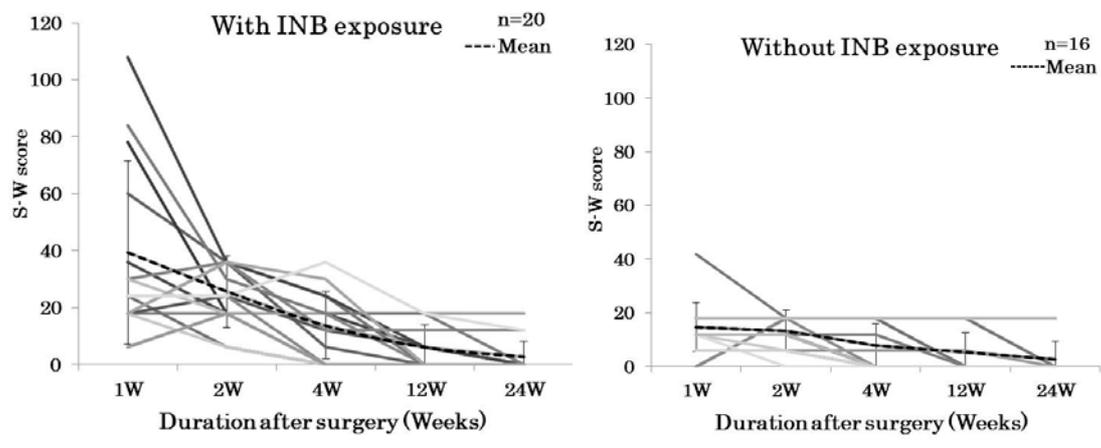


Fig.6 Comparison of S-W score change with time between the cases with or without IAB (Inferior Alveolar Bundle) exposure.

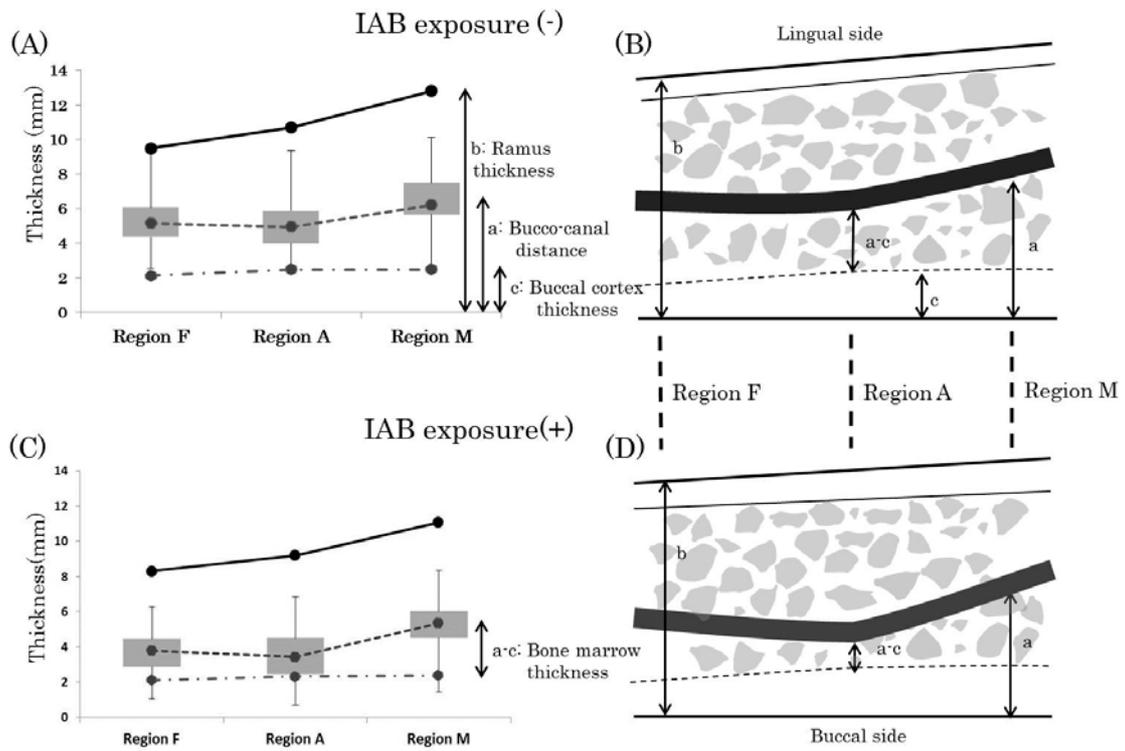


Fig.7 Location of the mandibular canal in the ramus referring to IAB exposure.

The line graphs show the mean linear distances in each cross-section in the IAB non-exposure cases (A) and the IAB exposure cases (C). Accordingly to (A) and (C), the location of mandibular canal (large gray line) is illustrated in (B) for without exposure and (D) for with exposure .

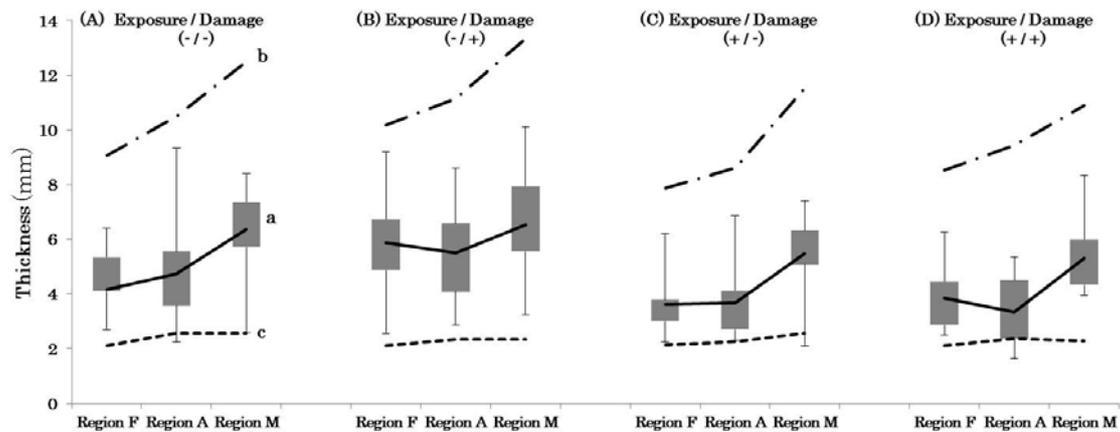


Fig.8 Location of the mandibular canal in the ramus referring to IAB exposure / IAN damage.

The line graphs show the mean linear distances in each cross-section with /without IAB exposure and with/without IAN damage cases.

(A) Exposure(-) / Damage(-), (B) Exposure(-) / Damage(+), (C) Exposure(+)/ Damage(-), (D)Exposure(+)/ Damage(+).

-----: Buccal-lingual width of ramus (b).

——: Distance from outer surface of buccal cortex to lateral side of mandibular canal (a).

-----: Distance from outer surface of buccal cortex to inner surface of buccal cortex (c).

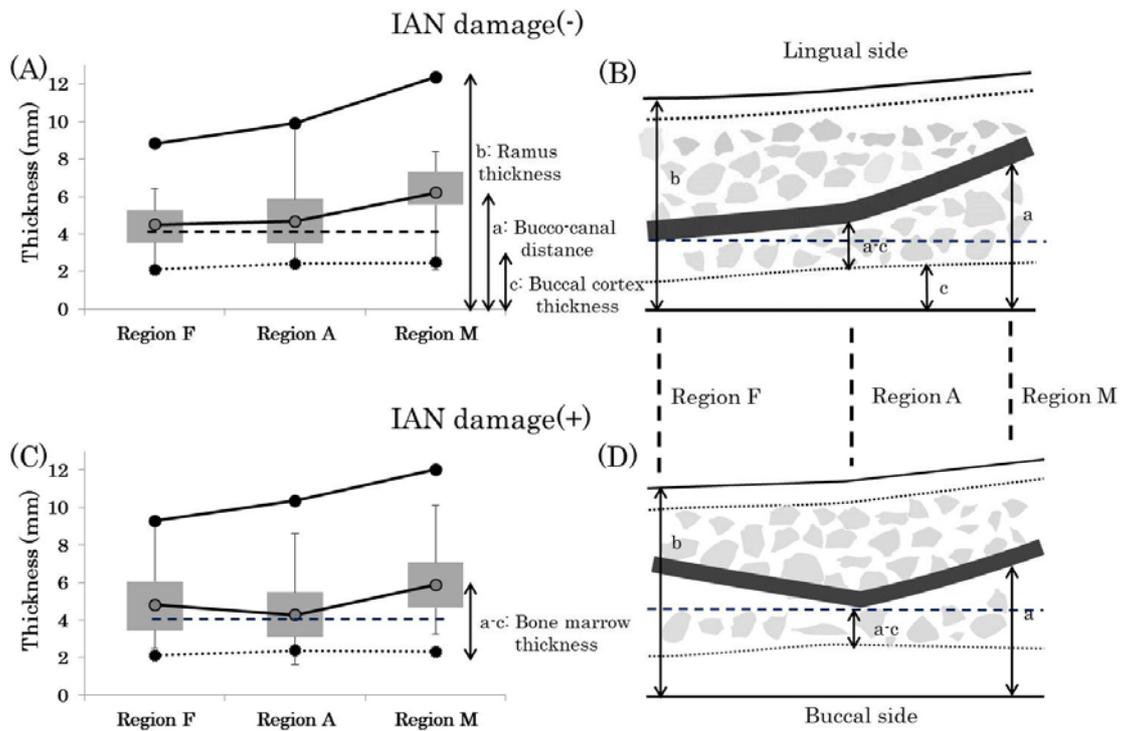


Fig.9 Location of the mandibular canal in the ramus referring to IAN damage.

The line graphs show the mean liner distances in each cross-section in cases without IAN damage (A) and cases with IAN damage (C). Accordingly to (A) and (C), the location of mandibular canal (large gray line) is illustrated in (B) for the cases without IAN damage and (D) for the cases with IAN damage.