顎矯正手術における超音波診断法と単純 CT 画像を用いた 顎動脈の走行位置評価

児 玉 泰 光¹⁾ 林 孝 文²⁾ 嵐 山 貴 徳¹⁾
田 中 礼²⁾ 福 田 純 一¹⁾ 高 木 律 男¹⁾

Using Ultrasonography and Unenhanced Computed Tomography to Determine the Internal Maxillary Artery Location before Orthognathic Surgery

YASUMITSU KODAMA¹⁾, TAKAFUMI HAYASHI²⁾, TAKANORI ARASHIYAMA¹⁾,
RAY TANAKA²⁾, JUN-ICHI FUKUDA¹⁾ and RITSUO TAKAGI¹⁾

Abstract

【Purpose】 This study examines using ultrasonography and unenhanced computed tomography (CT) to determine the location of the internal maxillary artery (IMA) before orthognathic surgery.

【Patients and Methods】 From January 2008 to February 2011, 15 patients (30 sides as bilateral) with jaw deformities agreed to participate in this study after informed consent was obtained. IMAs were visualized through the acoustic window formed by the zygomatic arch and mandibular notch using power Doppler ultrasonography. Ultrasonographic findings were classified into 2 patterns as follows: 1) clear pattern, indicating continuous or string-like structure; 2) unclear pattern, indicating discontinuous dot-like structure or no apparent blood flow. Each unenhanced CT image of the IMA location was categorized referring to the ultrasonographic image as predictable or unpredictable.

In addition, each predictable image was subclassified as lateral (located external to the lateral pterygoid muscle) or medial (other than the former).

【Results】 The ultrasonography had 24 (80.0%) IMAs classified as clear and 6 (20.0%) as unclear. For the 24

clear patterns, the mean distance from the mandibular notch to the IMA was 2.77 mm (1.0-6.0 mm). The IMA location was detectable in all patients using unenhanced CT plus ultrasonographic imaging. Of the 26 (86.7%) IMAs located lateral to the lateral pterygoid muscle, the ultrasonographic artery findings were classified as clear for 24 and unclear for 2. Of the 4 (13.3%) IMAs located medial to the lateral pterygoid muscle, the ultrasonography findings were classified as unclear.

【Discussion】 Paying attention to unclear-pattern images classified as lateral was necessary because they may indicate that the IMA is located in proximity to the ramus medially, and to clear-pattern images classified as lateral that approach the mandibular notch. We assume that the risk for hemorrhage during orthognathic surgery will increase if the IMA route is located in the surgery area.

【Conclusion】 A combination of ultrasonography and unenhanced CT for determining the IMA route may provide safer orthognathic surgery.

Key words: Internal Maxillary Artery (顎動脈), Ultrasonography (超音波診断法), Orthognathic Surgery (顎矯正手術)

[Received Jul. 19, 2011]

¹⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科顎顔面口腔外科学分野 (主任: 高木律男教授)

²⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科顎顔面放射線学分野 (主任: 林 孝文教授)

¹⁾ *Division of Oral and Maxillofacial Surgery, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Ritsuo TAKAGI)

²⁾ *Division of Oral and Maxillofacial Radiology, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Takafumi HAYASHI)

緒 言

顎矯正手術は規格化された手術として確立され、安全かつ短時間での施術が可能となっている¹⁾。しかし、術後に何らかの機能障害を来す場合や予期せぬ偶発症に遭遇したという報告も多く²⁾、こうしたリスク回避に対する尽力に終わりはない。われわれはこれまでに超音波診断法（以下、ultrasonography: US）と単純 CT 画像を組み合わせることにより、下顎切痕付近における顎動脈の走行位置が推測可能であることを報告し³⁾、顎顔面領域における主要血管の走行位置を推し量る新しい画像評価法として提案してきた。今回、実際に顎変形症患者に応用したところ、顎動脈の走行位置を比較的容易に把握することができ、結果として直視の困難な下顎枝内側の手術操作を安全かつ適切に行うことができた。特に、この画像評価法は、顎動脈が下顎切痕に近接している症例、または、下顎枝内側皮質骨近傍を走行している症例を把握することが可能である。ここでは、文献的考察を加え本評価方法の詳細と有用性について報告する。

研究方法

対象は 2008 年 1 月～2011 年 2 月までに本研究の主旨に同意を得た顎変形症患者で、平均年齢は 19.5 歳（16 歳～27 歳）、女性 10 名、男性 5 名である。顎矯正手術に至った臨床診断は Table 1 に示す通りで、口蓋裂症例 5 名を含んでいた。手術方法は当科における顎矯正手術の選択基準とその評価⁴⁾に従い決定した。

US 検査には GE 社製携帯型超音波診断装置（LOGIQ-e）と 5-12MHz 電子リニア探触子（12L-RS）を使用した。耳前部皮膚表面から頬骨弓と下顎切痕により形成される音響窓（Fig. 1）を介して側頭下窩を走査し、得られたパワードブラ画像における血管および血流を通常のグレースケール表示と照合して顎動脈を描出した。15 名の被検者における両側の音響窓（計 30 側）を走査し、顎動脈の血流が一断面で前後的に長く鮮明に描出されるよう撮像面を調整した。この時、パワードブラ画像における顎動脈の描出のされ方を、連続的に帯状または線状に描出される「明瞭」と、点状または血流が検出されない「不明瞭」とに大別した。パワードブラの撮影条件は血流の設定を低速とし、ゲ

Fig. 1 A three dimensional volume rendering image reconstructed with enhanced CT data (A 21 year-old-female with tongue carcinoma, right side). The course of the IMA can be observed through the acoustic window composed of zygomatic arch and mandibular notch. IMA indicates the internal maxillary artery.

Table 1 The detail of each case: gender, age, diagnosis and planned operation

No	Gender	Age	Diag.	Cleft	Ope.
1	M	20	Mand. Protrusion	Bi-CLAP	LI+Bi-SSRO
2	F	21	Mand. Protrusion	—	LI+Bi-SSRO
3	F	17	Mand. Asymmetry (lt)	—	Lt-SSRO+Rt-IVRO
4	F	19	Mand. Protrusion	CP	Bi-SSRO
5	M	18	Mand. Protrusion	Bi-CLAP	Bi-SSRO
6	F	17	Microgenia	—	LI+Bi-SSRO
7	F	17	Mand. Protrusion	Bi-CLAP	Bi-SSRO
8	M	25	Mand. Protrusion	—	Lt-SSRO+Rt-IVRO
9	M	25	Mand. Protrusion	—	Bi-IVRO
10	F	17	Mand. Asymmetry (lt)	—	Bi-IVRO
11	F	16	Mand. Asymmetry (lt)	—	LI+Bi-IVRO
12	F	17	Mand. Protrusion	—	Bi-SSRO
13	F	27	Mand. Asymmetry (lt)	—	Bi-IVRO
14	F	18	Mand. Protrusion	—	LI+Bi-SSRO
15	M	18	Maxil. Retrusion	Lt-CLAP	LI+Bi-SSRO

M: Male, F: Female, Mand: mandibular, Maxil: Maxillary, Bi: Bilateral, Lt: Left. Rt: Right, CP: Cleft palate, CLAP: Cleft Lip/Alveolar/Palate, LI: Le Fort I osteotomy, SSRO: Sagittal Splitting Ramus Osteotomy, IVRO: Intra Oral Vertical Osteotomy, (lt): It means asymmetric side of left.

Table 2 The results of each case; S-IMA, MN-IMA and the type of IMA

No	S-IMA (cl)		S-IMA (op)		MN-IMA		Type of IMA	
	lt	rt	lt	rt	lt	rt	lt	rt
1	18	20	17	19	3	3	Lateral	Lateral
2	19	19	18	18	3	3	Lateral	Lateral
3	—	—	—	—	—	—	<i>Medial</i>	<i>Medial</i>
4	22	—	23	—	3	—	Lateral	<i>Medial</i>
5	20	—	20	—	6	—	Lateral	<i>Medial</i>
6	20	20	19	19	4	4	Lateral	Lateral
7	16	16	17	17	4	3*	Lateral	Lateral*
8	14	14	15	15	2	2	Lateral	Lateral
9	17	17	18	17	2	2	Lateral	Lateral
10	17	18	17	18	2	3	Lateral	Lateral
11	19	17	19	17	2	1	Lateral	Lateral
12	19	20	19	20	2	3	Lateral	Lateral
13	20	20	20	20	4	2	Lateral	Lateral
14	23	20	23	20	4	3*	Lateral	Lateral*
15	16	17	16	17	1	1	Lateral	Lateral

S-IMA: the shortest distance between pre-auricular skin (S) to internal maxillary artery (IMA). MN-IMA: distance between mandibular notch (MN) to IMA. *mark shows that the result was determined generally in reference with ultrasonography and CT imaging. cl: close, op: open.

Table 3 The relationship between the sonographic IMA findings and the course of the lateral pterygoid muscle in 30 sides (15 patients) with jaw deformity.

	Sonographic findings		Total
	Clear	Unclear	
Lateral type	24	2	26 (86.7%)
Medial type	0	4	4 (13.3%)
Total	24 (80.0%)	6 (20.0%)	30

インはノイズが画面に描出されない程度とした。また、顎動脈の血流が描出された症例では、音響窓相当部の皮膚から顎動脈までの最短距離と下顎切痕から顎動脈までの最短距離をデジタル2点計測で記録した。US走査時の体位は、CT撮影と同じ仰臥位とし、術中の開口器を使用している状態を想定して開口時（上下顎の切歯間距離20mm）と閉口時のそれぞれで数回繰り返して行った。

単純CT撮影には東芝社製ヘリカルCT撮影装置（Aquilion64）、X線ビーム幅3mm、テーブル移動速度3mm/管球回転のシングルヘリカルスキャンを使用した。画像表示は軟組織条件による画像再構成でウインドウ幅240～300、ウインドウ値40に設定した。撮影データはフランクフルト平面にはほぼ平行な軸位断スライス幅2mmの単純CT画像とした。USの画像情報をもとに単純CT画像上で顎動脈の走行位置を検討し、顎動脈の走行位置が推測できる「推測可能」と、全く推測できない「推測不可」

とに大別した。同時に、血管造影法による解剖学的な顎動脈のバリエーションの分類⁵⁾を参考に、顎動脈が概ね外側翼突筋束の外方に位置する「Lateral type」とそれ以外の「Medial type」に分類した。これらの判定は、US経験年数25年の歯科放射線学会指導医1名が最も代表的な画像を選択して判定した。なお、本研究では顎変形症手術に関連した偶発的な血管損傷による周術期の出血を総称して出血性偶発症と定義した。

結 果

対象15例30側における頬骨弓と下顎切痕により形成される側頭下窩の音響窓からのUSによる顎動脈の描出のされ方は、明瞭が24側（80.0%）、不明瞭が6側（20.0%）であった（Table 2）。顎動脈の描出のされ方が明瞭であった24側について、音響窓皮膚面から顎動脈までの平均距離は閉口時で17.7mm（14.0mm～23.0mm）、開口時で18.0mm（15.0mm～23.0mm）であった。また、閉口時における下顎切痕から顎動脈までの平均距離は2.77mm（1.0mm～6.0mm）であった。閉口時と開口時とで音響窓皮膚面から顎動脈までの距離に大きな違いはなく、開口時に下顎切痕から顎動脈までの距離を観察することは困難であった。

続いて、USの画像情報をもとに単純CT画像上で顎動脈の走行位置を検討したところ、全症例で顎動脈の走行位置が推測可能であった。さらに、顎動脈と外側翼突筋との位置関係については、Lateral typeが26側、Medial typeが4側であった（Table 3）。USで顎動脈の検出が

Infrapositional lateral type (case 7, rt)

Fig. 2 The course of the right IMA is partly demonstrated on power Doppler ultrasonography (B and C). The possible course of the artery locating lateral to the lateral pterygoid muscle is also detectable on unenhanced CT (A) by comparing with the ultrasonographic images.

不明瞭であった6例のうち4例は顎動脈の存在を疑う血流所見が観察されなかったが、他の2例（症例7の右側と症例14の右側）は一部点状に血流を確認することができ、冠状断および軸位断の総合的な所見から下顎切痕と同じ高さまたはわずかに低い位置を走行していると示唆された。この2例は単純CT画像にて下顎切痕の高さで顎動脈は観察されず、それより低位で下顎枝内側に近接して外側翼突筋の外側から直下を走行していたため Lateral type (infrapositional) と判定した (Fig. 2)。症例3の両側、症例4と症例5の右側は、顎動脈が関節頭および下顎切痕付近で比較的低い位置を走行し、この部位では Lateral type と判断されたが、より末梢側では大部分が外側翼突筋内を貫通して上内方に走行していたために US では描出されず、Medial type と判定した (Fig. 3)。これら以外の24例は全て単純CT画像からも明瞭に顎動脈の走行位置が推測可能で、Lateral type (suprapositional) と判定した (Fig. 4)。

なお、US 走査時間はいずれの症例も15分を超えることはなく、患者に精神的および肉体的負担が生じなかったことを検査終了後に全例で確認した。

考 察

下顎枝矢状分割術（以下：SSRO）に関連した下歯槽神

Medial type (case 5, rt)

Fig. 3 Power Doppler ultrasonography fails to detect the course of the right IMA (B and C). No vessel-like structure is observed in the fat plane lateral to the lateral pterygoid muscle on unenhanced CT (A). The spot on the skin side of mandibular notch is supposed to be a transverse facial artery or the branch of transverse facial artery (B and C).

Suprapositional lateral type (case 1, rt)

Fig. 4 The course of the right IMA is clearly demonstrated on power Doppler ultrasonography (B and C). The possible course of the artery running lateral to the lateral pterygoid muscle is also detectable on unenhanced CT (A) by comparing with the sonographic images.

Fig. 5 Schematic drawings of the positional relationship between the course of the IMA and the lateral pterygoid muscle. This figure is reconstituted in reference to previous literature¹¹⁾. A; lateral type, B; medial type, C; mixed type.

経損傷や下顎枝垂直骨切り術（以下：IVRO）時の下顎切痕付近で生じる顎動脈損傷は、顎矯正手術において特徴的な偶発症と言える⁶⁾。神経損傷については、発症頻度⁷⁾や術後経過⁸⁾、知覚異常に対する評価手段や治療方法⁹⁾など、多くの報告によって一定の知見が示されている。他方、顎動脈への配慮については、十分な解析が行われているとは言いがたい。これは下顎管のように単純 CT 画像で容易に描出できない事に加え、顎動脈が関節突起および下顎枝内側で外側翼突筋と複雑な位置関係を取りながら前内上方に走行しているためと考えられる。この顎動脈に手術操作による偶発的な損傷が加わった場合、その出血は深部における動脈性出血であり、直視直達困難であるが故に止血に難渋すれば大量輸血や外顎動脈の結紮を必要とする場合もある^{6, 7, 10)}。したがって、たとえ頻度が低いとは言え出血性偶発症を回避すべき配慮を惜しんではならない。

通常、顎顔面領域の主要血管の走行部位を把握するには、経静脈的造影のもとで CT 撮影を行う必要があるが、一般的に顎矯正手術における術前画像評価は単純 CT 画像および単純 X 線写真である。造影剤による副作用のリスクを勘案すると主要血管の走行位置を推し量る目的で経静脈的造影を行うことには疑問が残る。そこで、われわれはリアルタイムかつ非侵襲的に血流を可視化できる US に着目し、まずは予備的な研究として口腔癌患者において先に示した音響窓を介して US 走査を行った。そして、その画像情報を参考に単純 CT 画像上で顎動脈の走行位置の推測が十分可能であることを示した³⁾。今回、実際に顎変形症患者に応用したところ、全ての症例で顎動脈の走行位置の把握が可能で、さらに、血管走行の特徴をより具体的に把握することに成功した。

個々の症例における位置関係を見ると、全 30 例中、26 例の顎動脈が外側翼突筋の外側（下顎切痕近傍か下顎枝内側）を走行していた。注目すべき所見は、US で顎動脈と下顎切痕の距離が 1 mm と近接（ほぼ接している）している症例（症例 11 の右側、症例 15 の両側）と US にて血流

が不明瞭で単純 CT 画像から下顎切痕より低い位置で下顎枝内面に近接している症例（症例 7 の右側、症例 14 の右側）である。これら 4 症例（5 例）では、顎矯正手術中の重要な手術操作となる下顎切痕の剥離や下顎小舌直上の下顎枝内側における骨膜剥離によって顎動脈を損傷する可能性が他の症例より高いと推測される。こうした症例に対し、われわれは、術野を確実に明視野に置くために、口腔内の粘膜切開を通常より若干広げる工夫をした。また、SSRO における下顎切痕や下顎枝内側の剥離に際しては、骨膜を極力損傷しないよう丁寧な手術器具の取扱いに努め、特に progenie haken の挿入や progenie haken を利用して下顎枝内側の軟組織を伸展させる時などは顎動脈の走行を意識した慎重な操作を心掛けた。IVRO を予定していた症例 11 では、通常の下顎枝外側の剥離に加え通常は行わない下顎切痕付近の内側の剥離を慎重に最小限の範囲で行った。その後のオシレーティングソーによる垂直骨切り時には、内側剥離した部位に粘膜剥離子を挿入して内側を走行している顎動脈を骨膜ごと保護し、顎動脈を損傷しない配慮をした。いずれにしても、個々の症例で顎動脈の走行位置を US で把握することは、その血管走行位置を鑑みた慎重な手術操作を導くことが可能となり、結果として出血性偶発症の軽減につながると思われた。

一方で、解剖学的な知見として顎動脈の走行における人種差の存在が知られている¹¹⁾ (Fig. 5)。欧米白人の半数（44.6%）は顎動脈が外側翼突筋の内方を走行するのに対し¹²⁾、日本人では約 93% が外側翼突筋の外方を、6% が内方を走行し、1% が筋束を貫通するといった報告もある¹³⁾。顎動脈に関連した出血性合併症の報告を渉猟する限り、国内外でその発症頻度に特別な傾向は見出せないものの、こうした解剖学的所見からは日本人の下顎枝内側における顎動脈損傷リスクは欧米白人よりも高いと言えよう。また、田中ら¹⁴⁾は、頭蓋骨の形によっても顎動脈の走行位置が変化すると言及しており、顎変形症患者（唇顎口蓋裂、上顎前突症、下顎前突症、下顎非対称など）で若干の相違が生

じている可能性も否めない。少数例のため明らかな傾向を見出すには至らなかったが、今回の結果を見る限り、対象に 5 例含まれていた口蓋裂患者における顎動脈の走行位置は、非口蓋裂患者との間に大きな差異は認めなかった。同様に、下顎非対称症例における偏位側と非偏位側、上下顎の咬合関係 (Class I, Class II, Class III) についても、傾向を議論できる結果は得られなかった。

今回の US 走査はキャリアのある歯科放射線科歯科医師が行い、いずれの症例も非侵襲的な 15 分以内の US 走査で完了している。このように簡便かつ短時間に顎動脈の走行位置を確認できることも本評価方法の利点の一つである。また、顎動脈からの予期せぬ出血性偶発症は、下顎骨または下顎枝付近に直接的な外科的侵襲が加わらない手術でも散見されるため^{10, 15, 16)}、本法の適応が顎矯正手術に限らず多くの顎顔面領域の手術 (悪性腫瘍、顔面骨骨折、顎関節関連手術など) にも拡大すれば、その有用性は飛躍的に向上すると思われた。

結 語

US と単純 CT 画像を組み合わせることにより、顎変形症患者においても経静脈的造影を施行することなく顎動脈の走行位置の評価は可能で、本法は顎矯正手術における術前画像検査の一つとして有用性が高いと考えられた。

本稿の執筆にあたり、多くの知識や示唆を頂いたベルン大学医学部顎顔面頭蓋外科の飯塚建行教授に、この頁を借りて心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 小林正治, 他: 本邦における顎変形症治療の実態調査, 日顎変形誌, 18 : 237-250, 2008.
- 2) Patel, P.K., et al.: Complications of orthognathic surgery, J Craniofac Surg, 18 : 975-985, 2007.
- 3) 林 孝文, 他: 顎動脈の走行位置評価における超音波診断法の有用性—造影 CT との比較—, 日顎変形誌, 16 : 12-15, 2006.
- 4) 河田 匠, 他: 当科における顎矯正手術の選択基準とその評価—特に術後合併症の予防について—, 新潟歯学会誌, 29 : 153-159, 1999.
- 5) Sashi, R., et al.: Angiographic anatomy of the first and second segments of the maxillary artery, Radiat Med, 14 : 133-138, 1996.
- 6) Lanigan, D.T., et al.: Hemorrhage following mandibular osteotomies; A report of 21 cases, J Oral Maxillofac Surg, 49 : 713-724, 1991.
- 7) Panula, K., et al.: Incidence of complication and problems related to orthognathic surgery: A review of 655 patients, J Oral Maxillofac Surg, 59 : 1128-1136, 2001.
- 8) Essick, G.K., et al.: Facial altered sensation and sensory impairment after orthognathic surgery, Int J Oral Maxillofac Surg, 36 : 577-582, 2007.
- 9) Seo, K., et al.: Characterization of different paresthesias following orthognathic surgery of the mandible, J Oral Maxillofac Surg, 63 : 298-303, 2005.
- 10) Lanigan, D.T., et al.: Major vascular complications of orthognathic surgery: Hemorrhage associated with Le Fort 1 osteotomies, J Oral Maxillofac Surg, 48 : 561-573, 1990.
- 11) 覚道健治, 他訳: カラー版 歯科臨床のための解剖アトラス—咀嚼筋と頸部—, 医歯薬出版, 東京, 1998, 111-118.
- 12) Pretterklieber, M.L., et al.: The human maxillary artery reinvestigated; 1 Topographical relations in the infratemporal fossa, ACTA Anatomia, 142 : 281-287, 1991.
- 13) 児玉公道, 他: 顎動脈, 佐藤達夫, 他編: 日本人のからだ・解剖学的変異の考察, 東京大学出版, 東京, 2000, 205-209.
- 14) 田中 秀, 他: 下顎神経の内側を通る顎動脈, 鶴見歯学, 29 : 187-191, 2006.
- 15) Peoples, J.R. 3rd, et al.: Management of internal maxillary artery hemorrhage from temporomandibular joint surgery via selective embolization, J Oral Maxillofac Surg, 46 : 1005-1007, 1988.
- 16) Ellis, E. 3rd, et al.: Rigid fixation of mandibular condyle fractures, Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 76 : 6-15, 1993.