

歯槽骨欠損の分類と骨造成法の選択基準

上野大輔

Classification of alveolar ridge configuration and the selection criteria of the bone augmentation techniques

Daisuke Ueno, DDS, PhD

抄 録

骨造成の目的は咀嚼機能の回復に必要な骨量の獲得だけではなく、審美性や清掃性の向上のためにも行われる。この際、さまざまな骨造成法の中から欠損形態に適した手法を選択する必要がある。骨欠損形態は周囲が骨壁に囲まれた内側性の骨欠損、外側に骨造成が必要になる水平性と垂直性の骨欠損に大別することができる。水平性、垂直性の骨造成は内側性に比べ周囲骨からの骨形成細胞などの供給が得にくい。一方で、口唇圧や咀嚼圧などの外圧に影響をうけるため、造成時の形態を維持するための工夫が必要となる。本稿ではさまざまな骨欠損形態における骨造成法の選択基準について、症例提示と文献レビューを通して考察する。

キーワード

骨造成術, 骨移植, 歯槽骨欠損形態, スペースメイキング装置, GBR

ABSTRACT

The purpose of bone augmentation in implant treatment is not only to acquire bone volume for function but also to improve esthetics and cleanability. Selection of bone augmentation techniques is needed for the implant treatment with considering configurations of the alveolar bone defects. Configurations of alveolar bone defect can be classified into three types, intra-bony defect such as dehiscence type and extraction socket, lateral bone defect and vertical bone defect. Augmentation in lateral and vertical bone defect is recognized as being more difficult compared to that of intra-bony defect because of less supplement of osteogenic cells from residual bone. In addition, external pressure such as occlusal force and labial pressure is strongly significant in external augmentation, and thus the use of space making device is important for resistance of the external pressures. The purpose of this present report describes the selection criteria of bone augmentation technique in each defect's configurations.

Key words:

Bone augmentation techniques, Bone graft, Types of the alveolar bone defects, Space making device, GBR

I. はじめに

歯周病や歯の喪失、外傷、嚢胞、腫瘍などさまざまな要因によって歯槽骨が吸収される。この現象は歯槽堤の粘膜外形を狭小化するため、骨造成はインプラント治療時の咀嚼機能の回復に必要な骨量を獲得する目的だけでなく、審美的に良好な歯冠形態、粘膜形態を

形成するために検討する機会が多い。骨造成量の設定は上部構造の種類（通常の Cr-Br タイプ、ボーンアンカードブリッジ、インプラントオーバーデンチャーなど）によっても異なるが、臨在歯の骨レベルや目標とする歯冠形態を考慮し3次的に造成することが重要である。本稿ではさまざまな骨欠損形態における骨造成法の利点・欠点と選択基準にフォーカスをあて解説する。

表 1 単独歯骨欠損の分類と骨造成法の推奨
(Terheyden & Cordaro. ITI treatment guide Vol. 7 より改変し引用)

骨欠損の分類	第一選択	他の選択肢
1/4 (裂開型)	GBR (同時法)	GBR (段階法) ブロック骨移植 (同時法, 段階法) *
2/4 (水平性)	GBR (段階法)	GBR (同時法) ブロック骨移植 (段階法) *
3/4 (水平+垂直)	スペースメイキング 装置を併用した GBR (段階法)	ブロック骨移植 シェルテック
4/4 (垂直)	ブロック骨移植 (段階法)	スペースメイキング装置を 併用したGBR (段階法)

*審美領域において推奨

II. 骨造成形態と骨欠損形態の分類

骨造成の形態は周囲が骨壁に囲まれた内側性の骨欠損への「内側性の骨造成」と、萎縮した歯槽骨に対して水平的、垂直的に造成する「外側性の骨造成」に大別できる¹⁾。一般的に抜歯即時埋入ではインプラント体が2~4壁性の骨壁に囲まれた内側性の骨造成となる。裂開型骨欠損についても近遠心、口蓋側(舌側)の骨壁に囲まれ、ボーンハウジングより内側にのみ造成する場合は内側性の骨造成となる。内側性の骨造成は周囲骨からの骨形成細胞の供給や血管新生が得られやすいため、骨形成が比較的容易な骨欠損形態と考える。

一方で高度に吸収した歯槽骨は水平的・垂直的に狭小化し、その過程で海面骨の割合も減少する。外側性に骨造成する際には母床骨と移植材料との接触面積が小さくなるため、十分な骨形成量の獲得が困難な欠損形態と言える。特に垂直的骨造成においては口唇圧や舌圧、咀嚼圧などの機能圧の影響を受けやすく、造成時の形態を維持するための工夫が必要になる。垂直的骨造成は創部哆開などの合併症の発症率が高いことから^{2,3)}、技術的難易度が最も高い造成形態と考えられている。

抜歯後におこる歯槽骨吸収の生理学的プロセスと典型的なパターンから Terheyden⁴⁾ は歯槽骨欠損を4つのタイプに分類した。Type1/4は頰側の骨吸収が埋入予定のインプラント長径の50%に達しない状態で、インプラントを埋入した場合は骨壁で囲まれた裂開型骨欠損になる。Type2/4は吸収が進行したナイフエッジ状の水平的骨欠損で、頰側においては埋入予定のインプラント長径の50%以上の骨吸収を認め、現存する骨エンベロープの外側に骨造成が必要とされる状態とある。Type3/4は頰側だけではなく、

表 2 複数歯骨欠損の分類と骨造成法の推奨
(Terheyden & Cordaro. ITI treatment guide Vol. 7 より改変し引用)

骨欠損の分類	第一選択	他の選択肢
1/4 (裂開型)	GBR (段階法)	GBR (同時法) ブロック骨移植 (段階法, 同時法) *
2/4 (水平性)	骨幅が4mm以下: ブロック骨移植 (段階法)	4mm以上: リッジエクステンション GBR (同時法, 段階法)
3/4 (水平+垂直)	ブロック骨移植 シェルテック	スペースメイキング装置を併用した GBR (段階法) 回転インターポジショナルグラフト
4/4 (垂直)	インターポジショナル グラフト	オンレーグラフト (段階法) 仮骨延長術

*審美領域において推奨

舌・口蓋部の歯槽骨も部分的に喪失し、水平的のみならず垂直的な骨高径の減少が引き起こされた状態で、Type4/4は骨吸収がさらに進行した重度の垂直的骨欠損と定義している。

III. 骨造成法の選択基準

現在、骨量が不足した歯槽骨欠損部に対してさまざまな造成法の有効性が報告されている。しかし、それら研究報告の多くは後ろ向き研究でサンプルサイズも小さく観察期間も短い。従って各々の欠損タイプに対する術式の選択基準にコンセンサスが得られていないのが現状である。本稿では2014年に Terheyden と Cordaro⁵⁾ が限られた文献から得られたエビデンスと主観に基づいて報告した「歯槽骨欠損タイプにおける骨造成法選択のためのガイドライン」とそれぞれの術式を紹介し考察する。

III-i. 裂開型欠損における骨造成法の選択

Terheyden と Cordaro⁵⁾ は欠損 Type1/4 (裂開型欠損) の単独歯欠損においてはインプラント埋入と同時に骨再生誘導法 (GBR (同時法)) を、複数歯欠損においては GBR 法 [段階法 (GBR 後に治癒期間を設け必要な骨量が得られた後にインプラント埋入手術を行う段階的手法)] を第一選択とした (表 1, 2)。造成形態の賦形のしやすさや合併症の発症率の低さから、吸収性メンブレンを併用した GBR は最も汎用性の高い骨造成法の1つと考えられる。GBR 法は骨組織と被覆する軟組織をバリアメンブレン (遮断膜) で隔てることによって、欠損部に骨髄由来の新生血管と骨形成細胞を集積し骨形成を促す手法である⁶⁾。造成部の血餅を保持する役割や、被覆する軟組織からの血液由来破骨細胞前駆細胞の経路を遮断することによつ

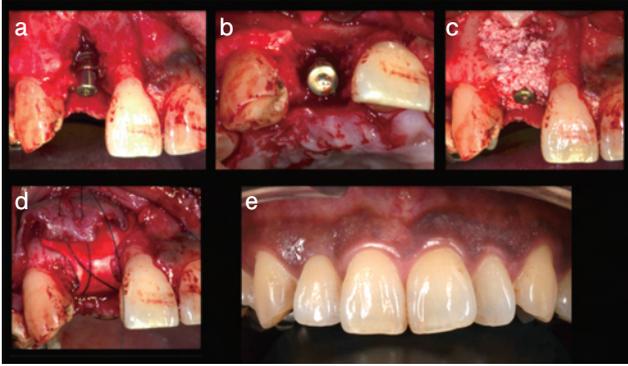


図1 裂開型骨欠損におけるGBR法（同時法）：a-dは術式の流れを示す。eは最終補綴装置装着後の口腔内写真（頬側面観）

て破骨細胞による早期骨吸収を抑制する効果もある。

術式はインプラントの埋入後、露出したインプラント周囲の皮質骨にラウンドバーを用い多数の穿孔を加える（図1a, b）。次にスクレーパーを用いて欠損部周囲から細粒骨を採取し、露出したインプラント体表面を被覆する。さらに外側から吸収の遅い骨補填材と自家骨の混合した造成材料を充填した後、通常は固定を必要としない吸収性コラーゲンメンブレンで被覆する（図1c, d）。

III-ii 水平的骨欠損における骨造成法の選択

欠損 Type2/4（水平的骨欠損）の単独歯欠損ではGBR（段階法）、複数歯欠損においては骨幅が4 mm 以下の場合にブロック骨移植（段階法）を第一選択としている⁵⁾。ブロック骨移植は供給側とは別部位に需要側を求める必要があり、口腔内からの採取は口腔外からの場合と比較し外科的侵襲が低い。ブロック骨移植は優れた骨形成能と機械的強度を有することから骨造成におけるゴールデンスタンダードと考えられている。一般的に少数歯欠損における骨移植では下顎骨体部・下顎枝から骨採取を行う場合が多く、膜性骨化によって形成される顎骨からの骨移植は内軟骨性骨化によって形成される腸骨の移植に比べて、造成後の吸収率が低く血管新生も早いことが報告されている⁷⁾。

術式はまず供給側の粘膜骨膜弁の剥離・翻転を行い（図2）、需要側から欠損より若干大きいサイズのブロック骨を採取する。骨採取は超音波骨切削器具を用いることで、軟組織の損傷を回避することができる。切削は海綿骨まで達する深さとし、骨ノミを軽打し採取する。範囲が広い場合は複数のノミを用い切削溝を均等に軽打する。採取した骨は欠損に適合する形態に

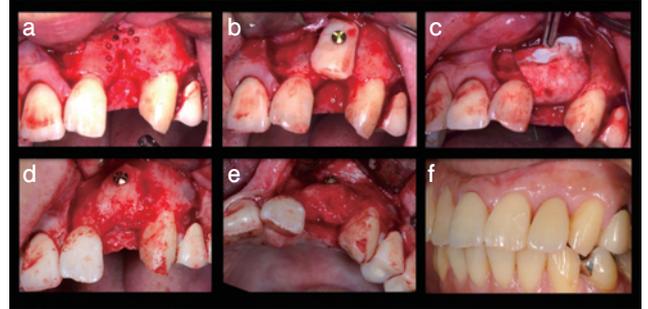


図2 水平的骨欠損におけるブロック骨移植：GBR法を併用したブロック骨移植の術式の流れを示す（a-c）。術後6カ月の待機期間の後にブロック骨が母床骨に定着していることを確認し（d, e）、インプラント体の埋入を行った。最終補綴装置装着後の口腔内写真（頬側面観）を示す。

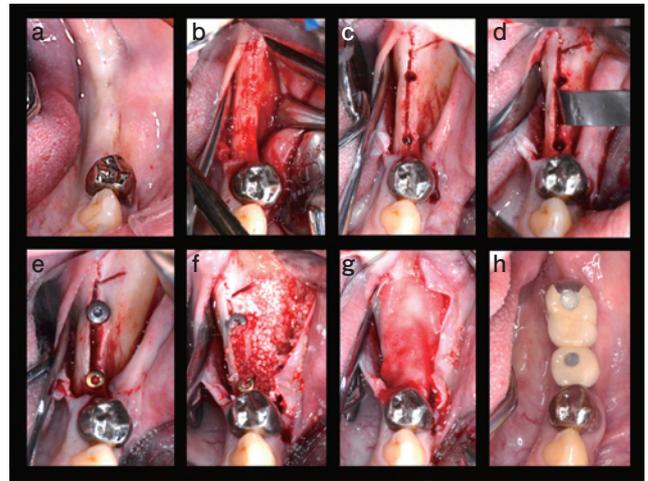


図3 水平的骨欠損におけるリッジエクspansionsとGBR法の併用：a-gは術式の流れを示す。hは最終補綴装置装着後の口腔内写真。

トリミングし、必要に応じて母床骨を削合し形態修正する。十分な適合が得られたら、母床骨に海面骨に達する複数の穿孔を加える（図2a）。海面骨から造成部位への前駆細胞の供給や血管新生を促進することが期待できる。次に小骨スクリューでブロック骨を母床骨に固定する（図2b）。ブロック骨は断端を丸め隣接歯の骨と移行的にすることで創部裂開のリスクを低下させる事ができる。また、ブロック骨と母床骨の隙間に細粒骨を充填し、吸収性コラーゲンメンブレンで被覆することによって軟組織の侵入を防ぐことができる（図2c）。

歯槽堤幅が4 mm以上の水平的骨欠損（図3a, b）ではリッジエクspansionsが有効な選択肢となる⁵⁾。複数歯欠損でリッジエクspansions（同時法）を行う場合は、まずφ2 mm程度の細いパイロットドリルを用いてインプラント埋入予定深度まで形成し、

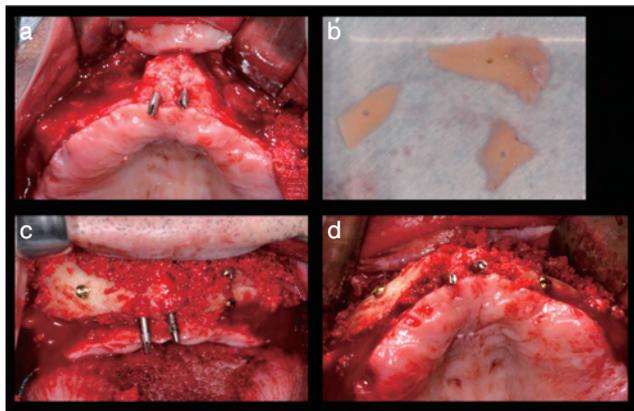


図4 水平的・垂直的骨欠損（軽度）におけるシェルテクニックの応用：厚みが薄い骨片を移植する際は母床骨との間にスペースをあけて設置する（a-d）。スペースには自家骨（粉碎骨）などを充填し吸収性コラーゲン膜などで被覆する。左側は頬側および咬合面側からスペースをあけた状態でスクリュー固定している（ボックステクニック）。

それらをつなげるように骨切りを行う（図3c）。この際、超音波骨切削器具を用いると周囲軟組織・硬組織の損傷するリスクを軽減することができる⁸⁾。骨切りは海面骨に達する深度で形成するが下歯槽管などを損傷しないように十分に注意する必要がある。皮質骨の厚い下顎臼歯部や、拡張幅が大きい症例では縦方向にも骨切りすることにより歯槽堤の拡張が容易になる。次にスプレッダーなどを軽打して歯槽頂を拡張し（図3d）、インプラント埋入を行うために十分な幅径に拡大されるまで繰り返す。インプラント埋入後は拡張した骨壁とインプラント体に囲まれた空隙部に自家骨や骨補填材などを充填し吸収性コラーゲンメンブレンで被覆することにより軟組織の侵入を防止する（図3e-g）。Ellaら⁹⁾によるとリッジエクспанションとGBRの併用はリッジエクспанションのみで骨造成した場合と比較して術後の骨吸収が有意に少ないことを報告している。

リッジエクспанションの利点は歯槽頂を骨切り・拡張することにより水平性骨欠損から内側性骨欠損へと骨欠損形態を変えることで、露出した海面骨から前駆細胞などの供給を容易にすることである。また、インプラント体の周囲が母床骨に囲まれることにより良好な骨形成が期待でき、治療期間を短縮することが可能になる¹⁰⁾。しかし、上顎前歯部のように基底部から歯槽頂にかけて唇側に傾斜した部位で骨切り・拡張を行うと、インプラント埋入軸が唇側に傾斜しやすい。そのため審美領域では段階法を応用することが望ましいと考える。

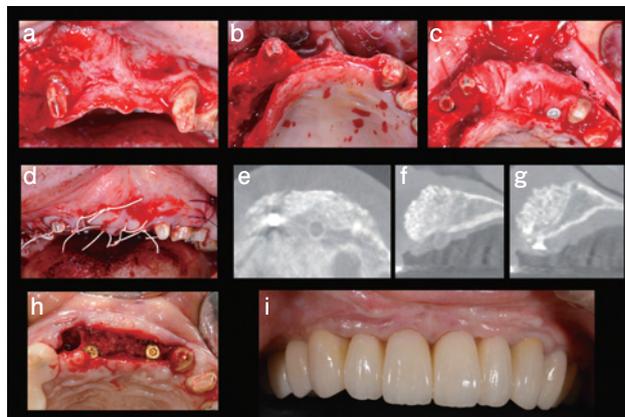


図5 水平的・垂直的骨欠損（軽度）における吸収性メンブレンを併用した段階的GBR法：萎縮した歯槽堤に吸収性コラーゲンメンブレンを併用したGBR（Sausage Technique）を行った（a-d）。術後6カ月のCBCT画像（e-g）。骨造成部に不透過性の充進を認めたため、インプラント埋入手術を行った（h）。最終補綴装置装着後の口腔内写真（頬側面観）をiに示す。

III-iii. 垂直的骨欠損における骨造成法の選択

Type3/4（軽度な垂直的骨欠損を伴う水平的骨欠損）への外側性の骨造成では咀嚼圧、口唇圧、舌圧などの機能圧による影響を受けやすくなる（図4a）。そのため、Type2/4と同様に機械的強度を備え骨形成能に優れたブロック骨移植が第一選択となる⁵⁾。口腔内からブロック骨を採取する際に、下歯槽管が下顎枝の頬側に位置するなどの理由で、十分に厚みのある骨を採取することが困難な場合がある（図4b）。このような症例にはシェルテクニックが有効である¹¹⁾。シェルテクニックはシェル状の薄いブロック骨を母床骨にポジショニングスクリューで固定する（図4c, d）。この際、母床骨との間にスペースを確保した状態で設置する。このスペースに粉碎した自家骨や骨補填材を充填し吸収性コラーゲンメンブレンで被覆する。このように機械的強度の高いシェル状ブロック骨を設置することにより、母床骨との間にスペースメイキングが可能となり外圧から造成部を保護することが可能となる。シェルテクニックは必要な垂直的造成量が過大でない症例に適用することが望ましいと考えられている⁵⁾。その他の選択肢としては、チタン強化型非吸収性遮断膜、チタンメッシュなどスペースメイキングのための装置を併用した段階的GBR法も適用となる。また、近年は上記のような大掛かりなフレームワークを用いずに、GBRにテンティングスクリューを併用することにより補填材料の維持や外圧への対策を図るテント

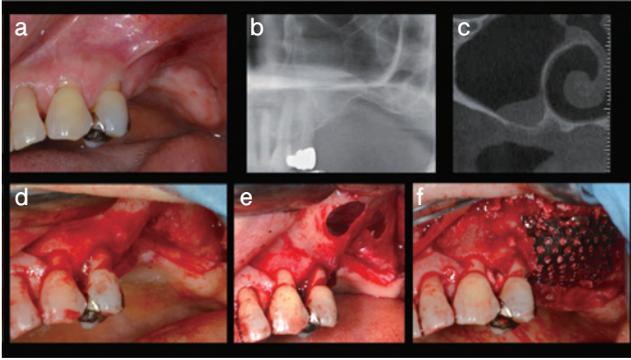


図6 垂直的骨欠損におけるチタンメッシュを併用したGBR法：上顎左側臼歯部に著しい垂直的骨吸収を認める (a-d)。上顎洞底挙上術 (e) を行った後に上顎洞側と顎骨外側に移植材の充填を行い、チタンメッシュをスクリュー固定をした (f)。

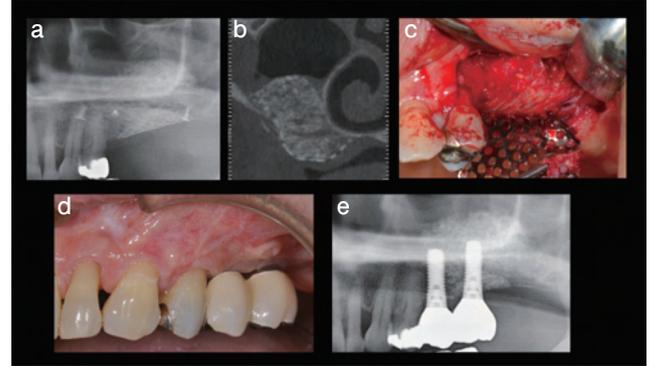


図7 垂直的骨欠損におけるチタンメッシュを併用したGBR法：術後8カ月に撮影したCT画像 (a, b)。上顎洞側および歯冠側に不透過性の亢進を認める。チタンメッシュ除去後、骨欠損部に垂直的に十分な骨量の獲得ができたことが確認できる (c)。最終補綴装置装着後の口腔内写真とパノラマX線写真をd, eに示す。

ポールテクニック¹²⁾が報告されている。また、伸展性のあるコラーゲン製メンブレンで混合移植材 (ウシ由来脱タンパクミネラル：自家骨=1：1) にテンションをかけながら被覆固定することでスペースメイキングを図るソーセージテクニック¹³⁾などが代替の手法として報告されている (図5)。GBRを併用した垂直的骨造成は創部哆開などの合併症の発現率が最も低く¹⁴⁾、比較的低侵襲であるため近年は有力な選択肢の1つになりつつある。

Type4/4 (著しい垂直的骨欠損) についてはインターポジショナルグラフト (サンドウィッチグラフト) が第一選択とされる⁵⁾。この手法は下顎臼歯部においての報告^{15,16)}が多数を占めるが、高度に萎縮した下顎歯槽堤においては下歯槽神経を損傷するリスクがあるため、下歯槽管から歯槽頂まで骨高径が最低4-5mm程度確保できる症例に限定される。他の選択肢である仮骨延長術についても解剖学的制約によって適用できない症例が多く、骨造成の方向をコントロールするのが困難であるとされている。また、装置が大きいため咀嚼障害や審美障害を起こしやすく、本邦において用いられるケースは少ないと推測される。

近年、筆者は垂直的骨欠損を伴うType3/4, 4/4欠損においてチタンメッシュを併用したGBR法を好んで選択している。なぜならチタンメッシュは賦形性が良く意図した形態に3次的に整形でき、創部裂開時の感染リスクが低いことが報告されている¹⁷⁾からである。

垂直的骨造成は先ず造成部をテンションフリーで縫合するために必要な範囲で切開・剥離を加える (図6)。次に移植床とチタンメッシュトレーの調整を行い、ト

レー内に移植材を緊密に填入した後、母床骨に小骨スクリューで固定する。血餅保持のため吸収性コラーゲンメンブレンで設置したメッシュトレー全体を被覆し、粘膜骨膜弁をテンションフリーで縫合する。骨形成が得られにくい欠損形態・造成形態であるため、骨補填材を使用する際は粉碎した自家骨を十分に加える必要がある。Simionらはウシ由来脱タンパクミネラルと自家骨を1：1の割合で混合した造成材料を垂直的骨造成に応用し良好な骨形成が得られたと報告している¹⁸⁾。本症例は骨造成後8カ月経過時にインプラントを埋入し、上部構造装着後の現在も良好に経過している (図7)。

IV. おわりに

本稿では骨欠損のタイプにおける骨造成法の選択基準について文献レビューと症例を提示して紹介した。しかし、そのエビデンスは十分でなく、今後はさらなる調査と術式の最適化が必要であると考える。

文 献

- 1) Tinti C, Parma-Benfenati S. Clinical classification of bone defects concerning the placement of dental implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003; 23: 147-155.
- 2) Hameed MH, Gul M, Ghafoor R, Khan FR. Vertical Ridge Gain with Various Bone Augmentation Techniques: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Prosthodont* 2019; 28: 421-427.
- 3) Urban IA, Montero E, Monje A, Sanz-Sánchez I. Effectiveness of vertical ridge augmentation interventions: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Peri-*

- odontol 2019; 46 Suppl 21: 319-339.
- 4) Terheyden HR. Knochenaugmentationen in der Implantologie Bone augmentation in implantology. *DtschZahnarztl Z* 2010; 65: 320-331.
 - 5) Cordaro L, Terheyden H. Methods for Ridge Augmentation. In: Chen D et al (ed), *Ridge Augmentation Procedures in Implant Patients: A Staged Approach*, ITI Treatment Guide, Vol. 7 (in Japanese): Quintessence; 2014, 29-81.
 - 6) Bosshard D, Shenk R. Biologic basis of bone regeneration. In: Buser D (ed), *20 years of guided bone regeneration in implant dentistry*, 2nd ed. Chicago: Quintessence; 2010, 15-46.
 - 7) Donos N, Mardas N, Chadha V. Clinical outcomes of implants following lateral bone augmentation: systematic assessment of available options (barrier membranes, bone grafts, split osteotomy). *J Clin Periodontol* 2008; 35: 173-202.
 - 8) Jha N, Choi EH, Kaushik NK, Ryu JJ. Types of devices used in ridge split procedure for alveolar bone expansion: A systematic review. *PLoS One* 2017; 12: e0180342.
 - 9) Ella B, Laurentjoye M, Sedarat C, Coutant JC, Masson E, Rouas A. Mandibular ridge expansion using a horizontal bone-splitting technique and synthetic bone substitute: an alternative to bone block grafting? *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29: 135-140.
 - 10) Sohn DS, Lee HJ, Heo JU, Moon JW, Park IS, Romanos GE. Immediate and delayed lateral ridge expansion technique in the atrophic posterior mandibular ridge. *J Oral Maxillofac Surg* 2010; 68: 2283-2290.
 - 11) Khoury F, Ponte A. The three-dimensional reconstruction of the alveolar crest with mandibular bone block graft: a clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19: 795-766.
 - 12) Caldwell GR, Mills MP, Finlayson R, Mealey BL. Lateral alveolar ridge augmentation using tenting screws, acellular dermal matrix, and freeze-dried bone allograft alone or with particulate autogenous bone. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2015; 35: 75-83.
 - 13) Urban IA, Nagursky H, Lozada JL. Horizontal ridge augmentation with a resorbable membrane and particulated autogenous bone with or without anorganic bovine bone-derived mineral: A prospective case series in 22 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26: 404-414.
 - 14) Elnayef B, Monje A, Gargallo-Albiol J, Galindo-Moreno P, Wang HL, Hernández-Alfaro F. Vertical Ridge Augmentation in the Atrophic Mandible: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017; 32: 291-312.
 - 15) Felice P, Marchetti C, Piattelli A, Pellegrino G, Checchi V, Worthington H, Esposito M. Vertical ridge augmentation of the atrophic posterior mandible with interpositional block grafts: bone from the iliac crest versus bovine anorganic bone. *Eur J Oral Implantol* 2008; 1: 183-198.
 - 16) Marconcini S, Covani U, Giammarinaro E, Velasco-Ortega E, De Santis D, Alfonsi F, Barone A. Clinical success of dental implants placed in posterior mandible augmented with interpositional block graft: 3-year results from a prospective cohort clinical study. *J Oral Maxillofac Surg* 2019; 77: 289-298.
 - 17) Augthun M, Yildirim M, Spiekermann H, Biesterfeld S. Healing of bone defects in combination with immediate implants using the membrane technique. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995; 10: 421-428.
 - 18) Simion M, Fontana F, Rasperini G, Maiorana C. Vertical ridge augmentation by expanded-polytetrafluoroethylene membrane and a combination of intraoral autogenous bone graft and deproteinized anorganic bovine bone (Bio Oss). *Clin Oral Implants Res* 2007; 18: 620-629.

著者連絡先：上野 大輔

〒 731-0501 広島県安芸高田市吉田町吉田
1218

Tel: 0826-42-0252

Fax: 0826-42-3878

E-mail: ueno_dent@yahoo.co.jp