

下顎II度根分岐部欠損の治療における、ハイドロキシアパタイト骨移植材と併用した酸素放出ゲルおよび0.8%ヒアルロン酸ゲルの調節効果：ランダム化臨床比較試験

原著：Pavitra Jayakumar, Sharmistha Vijay, Debopriya Chatterjee, Setu Mathur. The modulatory effect of oxygen-releasing gel versus 0.8% hyaluronic acid gel incorporated hydroxyapatite bone graft in the management of grade II mandibular furcation defects: a randomized clinical control trial. Journal of Applied Oral Science 34 (2026)。DOI: 10.1590/1678-7765-2026-0115 (<https://doi.org/10.1590/1678-7765-2026-0115>)。

非公式AI日本語訳、2026年9月15日作成。歯科医師の監修・査読は未実施。主文、抄録、全5表、全6図の図注、式、声明、著者情報を訳し、参考文献は原文書誌情報を保持した。原図および図中の文字・数値、補足資料は収録していない。原著と本翻訳は CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) に従う。翻訳・再構成による改変を加えたもので、公式訳や原著者・出版社の承認を意味しない。

抄録

目的

多根歯の複雑な構造は、治療時の根分岐部へのアクセスを難しくする。本研究は、II級根分岐部欠損に対してハイドロキシアパタイト骨移植材と併用する酸素放出口腔ゲルおよび0.8%ヒアルロン酸ゲルの臨床的・画像的効果を評価することを目的とした。

方法と結果

歯周炎（ステージII・III、グレードA・B）と頰側II級根分岐部欠損を有する下顎臼歯45歯（20～60歳の参加者1人につき1部位）を治療した。対象部位を3群へ無作為に割り付けた。第1群はフラップを開けてのデブライドメント（OFD）後にプラセボゲル、第2群はOFD後に0.8%ヒアルロン酸ゲル＋ハイドロキシアパタイト骨移植材、第3群はOFD後に酸素放出口腔ゲル＋同骨移植材を適用した。歯肉指数、プラーク指数、相対的垂直臨床アタッチメントレベル、相対的水平臨床アタッチメントレベル、プロービングポケット深さをベースラインと6か月後に記録した。骨内欠損と骨充填率はCBCTで測定・算出した。骨内欠損の平均減少は第3群（ 1.433 ± 0.594 ）が最大で、第2群（ 1.000 ± 0.000 ）、第1群（ 0.700 ± 0.414 ）が続いた。平均骨充填率は第1群（ $34.69\%\pm12.14$ ）が最も低く、第2群（ $46.87\%\pm4.71$ ）および第3群（ $50.93\%\pm4.62$ ）より有意に低かった。両比較とも $p<0.001$ であった。

結論・登録

本研究の限界内で、II級根分岐部欠損の外科的歯周治療に酸素放出ゲルとハイドロキシアパタイト骨移植材を併用すると、優れた再生能が示されたと結果は示唆する。臨床試験登録：CTRI/2025/02/081311。

キーワード：OFD、酸素放出ゲル、ヒアルロン酸ゲル、ハイドロキシアパタイト骨移植材。

はじめに

歯周炎は歯の周囲の結合組織と歯槽骨を失わせる多因子性の炎症性感染症である [1]。歯のバイオフィルムがディスバイオーシスを引き起こし、宿主応答と微生物バイオフィルムとの不均衡によって歯周組織が徐々に破壊される歯周炎へ至る [2, 3]。

免疫系は微生物攻撃に対して炎症反応を誘導し、歯周組織を保護すると同時に破壊もする二面性を持つ [4]。

多根歯の歯根が分岐する解剖学的領域を根分岐部という。この部位の支持歯槽骨の病的吸収は通常、侵襲性または慢性歯周炎の進行によって生じ、根分岐部への侵入・病変となる [5]。多根歯のアタッチメント喪失の重症度は、根分岐部病変の程度で決まる [6]。

下顎II級根分岐部病変は、多根歯の形態と、慢性歯周炎において単根歯より臼歯喪失リスクが高いことから、治療を困難にする [7]。複雑な構造、狭い入口、さまざまな形態の隆線・凸面・凹面が器具操作を難しくする [7, 8]。

根分岐部特有の構造は器具の到達を制限し、従来の歯周治療への反応を不十分にするため、追加治療が必要となる [9]。

口腔内・外の自家骨、同種骨、異種骨、生体活性ガラス・リン酸三カルシウム・ハイドロキシアパタイト (HAP) などの合成・半合成材料を含む、多くの骨移植材が臨床で使用・評価されている [10]。

HAPは足場として働き、既存骨の表面で骨形成細胞の増殖を可能にするため、根分岐部欠損治療で臨床的に満足できる結果をもたらしてきた。生物学的活性物質と組み合わせると再生能が高まった [11, 12]。HAPは人工骨移植材料である。歯周骨再生の臨床結果は有望に見えるものの、組織学的には移植材が結合組織に包まれ、骨形成がわずかまたは認められない [13]。したがって局所薬物送達剤の併用は再生能を増す可能性がある。

互いに補い合う強力な2物質、ラクトフェリンと活性酸素は、嫌気性菌の減少を助ける局所薬物送達剤として利用でき、この点が特徴となる [14]。

抗炎症特性があり、肉芽組織形成、コラーゲン・ヒアルロンタンなど細胞外マトリックス成分の合成といった組織治癒の早期炎症段階を支え、線維芽細胞・角化細胞の遊走と増殖を刺激する [15, 16]。

酸素放出ゲルは抗菌、抗ヒスタミン、抗真菌の特性を持ち、新生血管形成、毒素除去、新たな血球の形成・産生促進、幹細胞合成の増強によって治癒を加速する [17]。

本研究ではヒアルロン酸 (HA) とHAPを組み合わせた治療も用いた。HAは細胞の生存、増殖、初期の骨形成分化を促す。細胞遊走、分化、治癒を加速する。その同化作用により、非外科的歯周治療、インプラント周囲炎管理、根面被覆、根分岐部病変治療、抜歯窩保存で重要な役割を果たす [18, 19]。併用療法では、再生転帰の改善のため2種類以上の歯周再建技術・材料を同時に用いる。組織再生の生物学的・機械的原理を組み合わせ、相加的または相乗的な効果を目指す [20]。

本研究は下顎II級根分岐部欠損に対し、HAP骨移植材と併用する酸素放出口腔ゲルと0.8%HAゲルの臨床・画像効果を評価した。

方法

本研究は単施設ランダム化比較臨床試験である。Rajasthan University of Health SciencesのCollege of Dental Sciences and Hospital (Jaipur) の歯周病科を受診し、歯周炎 (ステージII・ III、グレードA・ B) を有する20～60歳の男女45人を採用基準により選択した。同大学・病院の倫理委員会および審査委員会が承認した。倫理承認後、書面による説明同意および口頭同意を得て参加した (RUHS-CDS/EC/2023/PG-The/12、2023年8月30日)。研究期間は2023年11月～2025年3月。試験はCTRI (<https://ctri.nic.in/>)で承認・登録された (CTRI/2025/02/081311) (図1)。CONSORT指針に従って報告した。

図1 (図注)。CONSORTフローダイアグラム。[原図未収録。]

選択基準

採用基準は、歯髓が生活している下顎第一大臼歯の頬側II級根分岐部欠損、CBCTでの根分岐部透過像、第一段階治療 (専門的な機械的プラーク除去) 後の垂直プロービング深さ (VPD) ≥ 5 mmと水平プロービング深さ (HPD) ≥ 3 mmとした。

全身疾患、妊娠・授乳、ステージIV・グレードC歯周炎、タバコ使用、免疫機能低下を除外基準とした。

評価者が患者を登録した。コンピューターで生成した割付により、部位をOFD+プラセボ (n=15)、OFD+酸素ゲル+HAP (n=15)、OFD+HA+HAP (n=15) のいずれかへ無作為に割り付けた (図1)。

最小標本数の式は次のとおりである [21]。

$$n = 2\sigma^2(Z_{crit} + Z_{pow})^2 / D^2$$

nは各群の標本数、 σ^2 は各群の分散 (両群で等しいと仮定)、Dは2平均の最小検出差である。ZcritとZpowは、それぞれ所定の有意水準と1- β の検出力での標準正規偏差である。標準正規偏差は標準正規確率変数の値を得ることを指す。両側検定の有意水準5%でZcrit=1.96、検出力80%でZpow=0.84、90%で1.28となる。

常温重合アクリルで厚さ2-3 mmのステントを作製した。No.556ストレートフィッシャーバーとエアタービンで頬側・舌側に垂直溝を作り、対象部位でUNC-15プローブを誘導した。ステントは咬合面・切縁面の1/3に設定した。溝にUNC-15歯周プローブを置いて測定した。

プラーク指数、歯肉指数、プロービングポケット深さ (PPD)、相対的垂直臨床アタッチメントレベル (RV-CAL)、相対的水平臨床アタッチメントレベル (RH-CAL) をベースラインと6か月後に記録した。溝付き個別アクリルステント、垂直測定用の色分け歯周プローブ (PCP-UNC 15、Hu-Friedy、Chicago、IL、米国)、水平測定用の根分岐部プローブ (Nabers、Hu-Friedy、米国) を用いて臨床測定を標準化した。

CBCTはX線管、線源コリメーター、アモルファスシリコン平面検出器からなるCarestream CS9300 (CS 3D Imaging v3.5.7、Carestream Health Inc.、New York、米国) を使い、撮影範囲10×10 cmで撮影した。骨内欠損 (IBD) は根分岐部天蓋から欠損底までの距離とし、ベースラインと6か月後に評価した。骨充填率は次式で算出した。

$$\text{骨充填率} = [(\text{術前根分岐部深さ} - \text{術後根分岐部深さ}) \times 100]。$$

本研究は二重盲検で、1名の評価者が術前・術後測定、1名の術者が手術、1名の放射線科医が画像解析を行った。3種類のゲルは同じ包装とし、患者と医師の両方を治療割付に盲検化した。

第1、2、3群に用いたゲル

酸素放出ゲルはPeter Blijdorp医師が開発した市販品Blue®m gelである。水、アルコール、グリセリン、シリカ、サッカリンナトリウム、過ホウ酸ナトリウム、クエン酸、PEG-32、グルコン酸ナトリウム、ラクトフェリン、キサンタンガム、セルロースガムを含む [22]。

0.8%HAゲルは市販のGengigel® Prof syringes (Ricerfarma、Milan、イタリア) である。無色の粘稠ゲルで特有のにおいを持ち、20°CでpH 6.5±0.5、20°Cで密度1040±0.005 g/cm³である。水、7.5%キシリトール、0.8%ヒアルロン酸ナトリウム、賦形剤を含む [23]。プラセボは三重蒸留水に2%メチルセルロースを溶解して調製した。使用前に超音波処理とガンマ線滅菌を行った。全体のプラーク・歯肉スコアの低下という結果に関連し、患者には根分岐部手術後に全顎の手術も行った。

外科処置

術前に患者が同意書に署名した。全員に1:80,000アドレナリン含有2%リグノカインで局所麻酔した。全群で通常のKirklandフラップを形成し、根分岐部をデブライドメントした。第1群はプラセボゲル、第2群はHAとHAP、第3群は酸素放出口腔ゲルとHAPを置いた。フラップを元の位置に縫合した (図2-4)。

図2 (図注) : 第1群。A : 術前HPD測定、B : 術前VPD測定、C : 歯肉溝内切開、D : 全層弁翻転、E : プラセボゲル、F : 縫合、G : 術後HPD測定、H : 術後VPD測定、I : 術前CBCT断面像、J : 術後CBCT断面像。 [原図未収録。]

図3 (図注) : 第2群。A : 術前HPD測定、B : 術前VPD測定、C : 歯肉溝内切開、D : 全層弁翻転、E : ヒアルロン酸ゲルの局所投与、F : HAPによる根分岐部欠損の充填、G : 縫合、H : 術後HPD測定、I : 術後VPD測定、J : 術前CBCT断面像、K : 術後CBCT断面像。 [原図未収録。]

図4 (図注) : 第3群。A : 術前HPD測定、B : 術前VPD測定、C : 歯肉溝内切開、D : 全層弁翻転、E : 酸素放出ゲルの局所投与、F : HAPによる根分岐部欠損の充填、G : 縫合、H : 術後HPD測定、I : 術後VPD測定、J : 術前CBCT断面像、K : 術後CBCT断面像。 [原図未収録。]

術後管理

抗菌薬 (アモキシシリン500 mgカプセル、1日3回、5日間) と鎮痛薬 (イブプロフェン400 mg錠、1日3回、5日間) を指示した。全身抗菌薬は根面器具操作の補助としてアタッチメントレベルを改善しうるためである [24]。0.2%クロルヘキシジン洗口を1日2回、2週間処方した。単純結節縫合と歯周包帯を術後1週で除去した。3~6か月ごとのメンテナンス (予防処置を含む) を行い、毎回口腔衛生指導を強調した。術後6か月に臨床指標を評価した。硬組織 (骨欠損) はCBCTで評価し、骨欠損を6か月時に再測定した (図2-4)。

統計解析

Microsoft Excel 2007へ入力し、SPSS 23.0で解析した。記述統計は平均・標準偏差。群間比較は一元配置分散分析、時点間の群内比較は対応のあるt検定を用いた。有意水準は5%。分布はShapiro-Wilk検定、分散の均一性はLevene検定で検討した。

統計検定では $p < 0.05$ を有意とし、 α エラー5%、 β エラー20%により検出力80%とした。

結果

45人全員が完了し、脱落も有害作用の報告もなかった。治癒は順調で、術後合併症はなかった。

第1群15人の平均年齢は30.60歳、第2群15人は27.87歳、第3群15人は32.47歳であった。45人中、女性21人、男性24人であった（表1）。

年齢・性別の値の度数に統計学的に有意な群間差はなかった（ $p>0.05$ ）。

ベースラインと6か月時のプラーク・歯肉指数に有意な群間差はなかった（ $p>0.05$ ）。全群で同程度のバイオフィルム減少と歯肉健康の改善が経時的にみられたことを示す。

PPDのベースラインと6か月の群内比較では、3群すべてで有意に減少した（すべて $p=0.001$ 、表2）。ベースラインの群間差は有意でなかった。6か月時の平均差の比較では、第3対第1群（ $p=0.004$ ）、第3対第2群（ $p=0.046$ ）が第3群に有利に有意で、第1対第2群の差は有意でなかった（ $p=0.192$ 、表5）。

RV-CALは全3群でベースラインから6か月までに有意に減少した（表3）。ベースラインの平均差の群間比較は有意でなかった（ $p>0.05$ ）。6か月時の事後解析は第1対第2群で有意でなく（ $p=0.241$ ）、第1対第3群（ $p<0.001$ ）と第2対第3群（ $p=0.002$ ）で有意であり、第3群で大きなアタッチメント獲得を示した（表5）。

RH-CALの群内比較では、全3群でベースラインから6か月まで有意な減少を示した（ $p=0.001$ 、表4）。ベースラインの平均差に有意な群間差はなかった（ $p>0.05$ ）。6か月時の事後解析は第1対第2群で有意でなく（ $p=0.081$ ）、第1対第3群、第2対第3群はともに有意であった（ $p<0.001$ 、表5）。

IBD平均値にベースラインで有意な群間差はなかった。6か月時には第3対第1群（ $p=0.001$ ）と第3対第2群（ $p=0.001$ ）で有意差があり、第1対第2群の差は有意でなかった（図5）。

図5（図注）。IBDの群間比較。[原図および図中の数値は未収録。]

骨充填率は第3群（ $50.93\%\pm4.62$ ）が第2群（ $46.87\%\pm4.71$ ）と第1群（ $34.69\%\pm12.14$ ）より高かった（図6）。

図6（図注）。骨充填率の群間比較。[原図および図中の数値は未収録。]

考察

多根歯の根分岐部欠損は、さまざまな薬剤の局所送達で改善できることが多くの研究で示されている [25, 26]。エビデンスは併用を示唆する。また生物学的メディエーターの追加がII級欠損に最良の治療をもたらす。

歯周研究の考え方の変化により、内在的な治癒能を高め加速する新しい生体材料が探究されている。歯周病の炎症と創傷治癒への理解が進み、細胞外マトリックス成分の治癒・再生促進能が検討されている。その一つが酸素放出ゲルである。酸素は細胞代謝、特にエネルギー合成に不可欠な栄養物質であり、コラーゲン形成、血管形成、再上皮化、細菌の酸化的死滅などに関与する [27, 28]。

欠損充填の画像評価に加え、プラーク指数、歯肉指数、PPD、RV-CAL、RH-CALをベースラインと術後6か月に評価した。CBCTで骨欠損の充填を画像的に評価した。CBCTの利点には短い走査時間（30秒）とパノラマX線より少ない放射線被曝がある。

プラーク・歯肉スコアの改善は、全対象者が口腔衛生を良好に保ったことに起因する可能性がある。定期的な指導強化は有益で、衛生の必要性について患者の認識を高めたと考えられる。McCarney et al. (2007) [

29]のように、ホーソン効果が衛生維持に重要な役割を果たした可能性がある。

6か月後のPPDは、第3対第1群 ($p=0.004$) および第3対第2群 ($p=0.046$) で有意差があり、第3群の減少が大きかったことを示す。Singh et al. (2024) [30] も類似の結果を示した。第3群のPPD低下は酸素放出ゲルとHAPの併用効果による。前者は抗炎症・組織形成作用があり、局所的・全身的に線維芽細胞・角化細胞の遊走と増殖、再上皮化、新しい肉芽組織形成を促す[31]。HAPは自然のヒト骨とよく似た機械的特性を示し、有効な骨模倣材料となるため、組織再生誘導への応用が有望である[32]。本研究には、本研究と類似するFigliuzzi et al. (2016) [32] と同様に、HAP単独の根分岐部治療群は設けなかった。

RV-CALとRH-CALの群間比較では、酸素放出ゲルとHAPを置いた第3群で垂直・水平アタッチメント獲得が有意であった。酸素療法は血管内皮増殖因子の発現を増し、前駆細胞の分化、新生血管形成、再生を促す。HAPは新しい細胞形成の骨組みとなる。Agarwal et al. (2024) [33] も、酸素放出ゲル+スケーリング・ルートプレーニング群で、後者単独群より大きな臨床アタッチメントレベルを認めた。ゲルの活性酸素放出による組織治癒の進行と嫌気性菌を殺す相乗効果によるとされる。

群間比較では、ある「群」(原文に番号の記載なし)が他群よりIBD減少と骨充填率が最大であった($p=0.001$)。ラクトフェリンの局所投与は骨再生を有意に促進した。酸素放出ゲルの主要成分であるラクトフェリンは骨成長の同化因子となる可能性があり、骨形成細胞(骨芽細胞)の増殖・分化を用量依存的に刺激しながら、骨吸収細胞の産生を有意に抑制する。これが第3群(OFD+酸素ゲル+HAP)の高い骨充填率を説明しうる。Palwankar, Gupta, Pandey (2020) [34] でも、II級欠損にナノ結晶HAPと生体活性リンケイ酸カルシウム移植材を用いると高い骨充填率が得られた。ハイドロキシ炭酸アパタイトの沈着・結晶化によるシリカに富む層が骨芽細胞の増殖を増し、速やかな骨形成を可能にするためである。本研究も、HAPと酸素放出口腔ゲルを併用した第3群で有意な骨充填率を認めた。

Mattei et al. (2021) [27] は、酸素放出製剤で骨欠損深さの著明な低下を示した。骨芽細胞への作用が結果をもたらした。また、ラクトフェリンと過酸化水素を放出し、それぞれ抗菌作用、骨細胞刺激作用を持つ。限界は標本数が小さいことである。治療結果の安定性を判断するには長期解析が必要となる。本研究の再生に関する臨床結果は組織学的解析で裏づける必要がある。酸素放出ゲルの長期転帰と再生能をさらに評価するため、より長い追跡と組織学的解析を行う研究が必要である。

結論

本研究の限界内で、全3群にベースラインから術後6か月までの平均相対アタッチメント獲得と平均PPD減少が統計学的に有意に認められた。群間比較では各時点で高度に有意な結果が得られた。平均RH-CAL・RV-CAL獲得とPPD減少は、OFD+酸素放出ゲル+HAP(第3群)で、OFD+0.8%HAゲル+HAP(第2群)およびOFD+プラセボ(第1群)より有意に大きかった。外科的歯周治療での酸素放出ゲルとHAPの併用に、優れた再生能が示された結果は示唆する。これらは歯周再生技術における酸素放出ゲル使用について新たな知見となりうる。

表1 年齢・性別分布の群間比較

群	性別	原表「Age」欄の値	平均年齢 (歳)
1	男性	10	30.60
1	女性	5	上段と結合
2	男性	8	27.87
2	女性	7	上段と結合
3	男性	6	32.47
3	女性	9	上段と結合
合計		45	

表2 全群におけるベースラインと6か月時PPDの群内比較

群	ベースライン	6か月	平均変化	P値	有意性
1	6.667±1.047	5.200±1.207	1.467±0.834	0.001	有意
2	6.533±1,060	4.733±0.884	1.800±0.676	0.001	有意
3	6.600±0.828	4.133±0.743	2.467±0.516	0.001	有意

表3 全群におけるベースラインと6か月時RV-CALの群内比較

群	ベースライン	6か月	平均変化	P値	有意性
1	5.200±0.775	4.267±0.594	0.933±0.704	0.001	有意
2	5.133±0.743	4.000±0.655	1.133±0.516	0.001	有意
3	4.933±0.704	3.267±0.594	1.667±0.488	0.001	有意

表4 全群におけるベースラインと6か月時RH-CALの群内比較

群	ベースライン	6か月	平均変化	P値	有意性
1	5.467±0.516	4.600±0.632	0.867±1.060	0.001	有意
2	5.467±0.516	4.200±0.775	1.267±1.033	0.001	有意
3	5.733±0.458	3.133±0.353	2.600±0.737	0.001	有意

表5 6か月時の臨床指標の平均差の群間比較

PI = プラーク指数、GI = 歯肉指数。原表のRVCAL・ RHCALは本文のRV-CAL・ RH-CALに対応。

指標	比較	平均差	P値	有意性
PI	群1 対 群2	0.200	0.413	有意でない
PI	群1 対 群3	0.267	0.276	有意でない
PI	群2 対 群3	0.067	0.784	有意でない
GI	群1 対 群2	0.666	0.071	有意でない
GI	群1 対 群3	0.733	0.051	有意でない
GI	群2 対 群3	0.067	0.743	有意でない
PPD	群1 対 群2	0.467	0.192	有意でない
PPD	群1 対 群3	1.067	0.004	有意
PPD	群2 対 群3	0.600	0.046	有意
RVCAL	群1 対 群2	0.267	0.241	有意でない
RVCAL	群1 対 群3	1.000	0.000	有意
RVCAL	群2 対 群3	0.733	0.002	有意
RHCAL	群1 対 群2	0.400	0.081	有意でない
RHCAL	群1 対 群3	1.467	0.000	有意
RHCAL	群2 対 群3	1.067	0.000	有意

訳注：原文の式・表記・説明上の問題

- 骨充填率の式には術前深さによる除算が記載されていない。原式をそのまま掲載し、訳者が分母を追加していない。
- HAゲルの密度は原文に「1040±0.005 g/cm³」とある。小数点などの欠落が疑われるが、原文どおり保持した。
- 表1の性別人数に相当する欄の見出しは原文で「Age」。表2の「1,060」、表5のP=0.000も原表どおりである。
- 試験実施期間は2023年11月から、登録番号は2025年2月を示す。前向き登録であったとの説明を補っていない。
- 考察の「CBCTはパノラマX線より被曝が少ない」は原著の記述であり、装置・条件ごとの比較根拠がこの箇所を示されていない。本訳が一般的な線量関係を保証するものではない。
- 考察のIBD・骨充填率最大の文は群番号が脱落しているため、「群（番号記載なし）」とした。

- 結論は「各時点の群間比較で高度に有意」と記すが、結果にはベースライン差が非有意との記載もある。双方を維持した。

- ゲルの機序、再生能、各併用効果に関する断定的表現は原著者の説明であり、訳者の独立した検証結果ではない。原著自身も組織学的裏づけの必要性を述べている。

データの利用可能性

本研究で生成または解析したすべてのデータは、この公開論文に含まれる。原著では「Data availability statement」と「Data availability」に同じ声明を掲載している。

著者・所属・貢献

- Pavitra Jayakumar : 独立研究者、Jaipur, India。構想、データ管理、形式的解析、資金獲得、調査、方法論 (すべてEqual = 同等の貢献)。

- Sharmistha Vijay : Government Dental College and Hospital Jaipur, Rajasthan University of Health Sciences, Department of Periodontics, Jaipur, India。構想、データ管理、形式的解析、資金獲得、調査、方法論 (すべて同等)。

- Debopriya Chatterjee : 同歯周病学科。構想、データ管理、形式的解析、資金獲得、調査 (すべて同等)。

- Setu Mathur : 同歯周病学科。構想、データ管理、形式的解析、資金獲得、調査、方法論、プロジェクト管理 (すべて同等)。

連絡責任著者 : Dr. Debopriya Chatterjee, Rajasthan University of Health Sciences, RUHS College of Dental Sciences, Jhotwara Road, Jaipur 302033, India。電子メール : Banerjee.debo@gmail.com。

編集者 : Ana Carolina Magalhães。副編集者 : Marco Antonio Hungaro Duarte。

利益相反 : 著者らは利益相反がないことを宣言する。

公表履歴・権利

コレクションへの公開 : 2026年8月31日。巻の年 : 2026。受付 : 2026年2月26日。査読 : 2026年6月18日。受理 : 2026年7月15日。

原著はCreative Commons Attributionライセンスの下で公開され、原著を適切に引用する限り、あらゆる媒体で制限なく利用、頒布、複製できる。出版社のライセンスリンクはCC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)を指定しており、翻訳による改変を許可する。本訳の冒頭に著者、原著、改変の事実を明示した。

参考文献 (原文書誌情報)

1 - Tonetti MS, Greenwell H, Kornman KS. Staging and grading of periodontitis: framework and proposal of a new classification and case definition. J Periodontol. 2018;89(Suppl 1):S159-72. doi: 10.1002/JPER.18-0006 » <https://doi.org/10.1002/JPER.18-0006>

2 - Armitage GC. Development of a classification system for periodontal diseases and conditions. Ann Periodontol. 1999;4(1):1-6. doi: 10.1902/annals.1999.4.1.1 » <https://doi.org/10.1902/annals.1999.4.1.1>

- 3 - Meyle J, Chapple I. Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. *Periodontol* 2000. 2015;69(1):7-17. doi: 10.1111/prd.12104 » <https://doi.org/10.1111/prd.12104>
- 4 - Page RC, Schroeder HE. Pathogenesis of inflammatory periodontal disease. A summary of current work. *Lab Invest*. 1976;34(3):235-49.
- 5 - Avila-Ortiz G, De Buitrago JG, Reddy MS. Periodontal regeneration - furcation defects: a systematic review from the AAP Regeneration Workshop. *J Periodontol*. 2015;86(2 Suppl):S108-30. doi: 10.1902/jop.2015.130677 » <https://doi.org/10.1902/jop.2015.130677>
- 6 - Waerhaug J. The furcation problem. Etiology, pathogenesis, diagnosis, therapy and prognosis. *J Clin Periodontol*. 1980;7(2):73-95. doi: 10.1111/j.1600-051X.1980.tb01951.x » <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.1980.tb01951.x>
- 7 - Svärdröm G, Wennström JL. Furcation topography of the maxillary and mandibular first molars. *J Clin Periodontol*. 1988;15(5):271-5. doi: 10.1111/j.1600-051X.1988.tb01583.x » <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.1988.tb01583.x>
- 8 - Al-Shammari KF, Kazor CE, Wang HL. Molar root anatomy and management of furcation defects. *J Clin Periodontol*. 2001;28(8):730-40. doi: 10.1034/j.1600-051X.2001.280803.x » <https://doi.org/10.1034/j.1600-051X.2001.280803.x>
- 9 - Sanz M, Herrera D, Kebschull M, Chapple I, Jepsen S, Berglundh T, et al. Treatment of stage I-III periodontitis: the EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol*. 2020;47(Suppl 22):4-60. doi: 10.1111/jcpe.13290 » <https://doi.org/10.1111/jcpe.13290>
- 10 - Reynolds MA, Aichelmann-Reidy ME, Branch-Mays GL, Gunsolley JC. The efficacy of bone replacement grafts in the treatment of periodontal osseous defects. A systematic review. *Ann Periodontol*. 2003;8(1):227-65. doi: 10.1902/annals.2003.8.1.227 » <https://doi.org/10.1902/annals.2003.8.1.227>
- 11 - Lomeli-Martínez SM, Alarcón-Sánchez MA, Alcaraz-Baturoni FJ, Robles-García MA, Ortega-Rodríguez MG, Aguilar-Martínez J. Nanocrystalline hydroxyapatite in periodontal bone regeneration: a promising frontier in biomimetic dentistry. *J Basic Clin Dent*. 2026;3(1):1-8. doi: 10.64471/r3mkjw64 » <https://doi.org/10.64471/r3mkjw64>
- 12 - Souto-Lopes M, Grenho L, Manrique Y, Dias MM, Lopes JC, Fernandes MH, et al. Bone regeneration driven by a nano-hydroxyapatite/chitosan composite bioaerogel for periodontal regeneration. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024;12:1355950. doi: 10.3389/fbioe.2024.1355950 » <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1355950>
- 13 - Nagahara K, Isogai M, Shibata K, Meenaghan MA. Osteogenesis of hydroxyapatite and tricalcium phosphate used as a bone substitute. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1992;7(1):72-9.
- 14 - Niveda R, Kaarthikeyan G. Effect of oxygen releasing oral gel compared to chlorhexidine gel in the treatment of periodontitis. *J Pharm Res Int*. 2020;32(19):75-82. doi: 10.9734/jpri/2020/v32i1930711 » <https://doi.org/10.9734/jpri/2020/v32i1930711>
- 15 - Icriverzi M, Dinca V, Moisei M, Evans RW, Trif M, Roseanu A. Lactoferrin in bone tissue regeneration. *Curr Med Chem*. 2020;27(6):838-53. doi: 10.2174/0929867326666190503121546 » <https://doi.org/10.2174/0929867326666190503121546>
- 16 - Trybek G, Jedlinski M, Jaron A, Preuss O, Mazur M, Grzywacz A. Impact of lactoferrin on bone regenerative processes and its possible implementation in oral surgery: a systematic review of novel studies with metanalysis and metaregression. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):232. doi: 10.1186/s12903-020-01211-6 » <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01211-6>
- 17 - Deliberador TM, Weiss SG, Rychuv F, Cordeiro G, Cate MC, Leonardi L, et al. Comparative analysis in vitro of the application of blue@m oral gel versus chlorhexidine on *Porphyromonas gingivalis*: a pilot study. *Advances in Microbiology*. 2020;10(4):194-201. doi: 10.4236/aim.2020.104015 » <https://doi.org/10.4236/aim.2020.104015>
- 18 - Bansal J, Kedige SD, Anand S. Hyaluronic acid: a promising mediator for periodontal regeneration. *Indian J Dent Res*. 2010;21(4):575-8. doi: 10.4103/0970-9290.74232 » <https://doi.org/10.4103/0970-9290.74232>
- 19 - Dahiya P, Kamal R. Hyaluronic acid: a boon in periodontal therapy. *N Am J Med Sci*. 2013;5(5):309-15. doi: 10.4103/1947-2714.112473 » <https://doi.org/10.4103/1947-2714.112473>
- 20 - Nemcovsky CE, Beitlitum I. Combination therapy for reconstructive periodontal treatment in the lower anterior area: clinical evaluation of a case series. *Dent J (Basel)*. 2018;6(4):50. doi: 10.3390/dj6040050 » <https://doi.org/10.3390/dj6040050>
- 21 - Charan J, Biswas T. How to calculate sample size for different study designs in medical research? *Indian J Psychol Med*. 2013;35(2):121-6. doi: 10.4103/0253-7176.116232 » <https://doi.org/10.4103/0253-7176.116232>
- 22 - Mishra S, Kumar M, Mohanty R, Das AC, Panda S, Mohanty G. Blue M-healing with oxygen. *Indian J Forensic Med Toxicol*. 2020;14(4):8957-60. doi: 10.37506/ijfmt.v14i4.13130 » <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v14i4.13130>
- 23 - Mamajiwala AS, Sethi KS, Raut CP, Karde PA, Mamajiwala BS. Clinical and radiographic evaluation of 0.8% hyaluronic acid as an adjunct to open flap debridement in the treatment of periodontal intrabony defects: randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig*. 2021;25(9):5257-71. doi: 10.1007/s00784-021-03834-7 » <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03834-7>

- 24 - Haffajee AD, Socransky SS, Gunsolley JC. Systemic anti-infective periodontal therapy. A systematic review. *Ann Periodontol*. 2003;8(1):115-81. doi: 10.1902/annals.2003.8.1.115 » <https://doi.org/10.1902/annals.2003.8.1.115>
- 25 - Laugisch O, Cosgarea R, Nikou G, Nikolidakis D, Donos N, Salvi GE, et al. Histologic evidence of periodontal regeneration in furcation defects: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2019;23(7):2861-906. doi: 10.1007/s00784-019-02964-3 » <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02964-3>
- 26 - Knighton DR, Hunt TK, Scheuenstuhl H, Halliday BJ, Werb Z, Banda MJ. Oxygen tension regulates the expression of angiogenesis factor by macrophages. *Science*. 1983;221(4617):1283-5. doi: 10.1126/science.6612342 » <https://doi.org/10.1126/science.6612342>
- 27 - Mattei BM, Imanishi SA, de Oliveira Ramos G, de Campos PS, Weiss SG, Deliberador TM. Mouthwash with active oxygen (blue@m) reduces postoperative inflammation and pain. *Case Rep Dent*. 2021;2021:5535807. doi: 10.1155/2021/5535807 » <https://doi.org/10.1155/2021/5535807>
- 28 - Grootveld M, Lynch E, Page G, Chan W, Percival B, Anagnostaki E, et al. Potential advantages of peroxoborates and their ester adducts over hydrogen peroxide as therapeutic agents in oral healthcare products: chemical/biochemical reactivity considerations in vitro, ex vivo and in vivo. *Dent J (Basel)*. 2020;8(3):89. doi: 10.3390/dj8030089 » <https://doi.org/10.3390/dj8030089>
- 29 - McCarney R, Warner J, Iliffe S, van Haselen R, Griffin M, Fisher P. The Hawthorne effect: a randomised, controlled trial. *BMC Med Res Methodol*. 2007;7:30. doi: 10.1186/1471-2288-7-30 » <https://doi.org/10.1186/1471-2288-7-30>
- 30 - Singh A, Vasudevan S, Palle AR, Atchuta A, Bhadauriya S. Comparative evaluation of scaling and root planing with and without oxygen-releasing gel in the treatment of chronic periodontitis: a split-mouth study. *J Contemp Dent Pract*. 2024;25(5):445-52. doi: 10.5005/jp-journals-10024-3689 » <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3689>
- 31 - Chang Y, Ping A, Chang C, Betz VM, Cai L, Ren B. Lactoferrin mediates enhanced osteogenesis of adipose-derived stem cells: innovative molecular and cellular therapy for bone repair. *Int J Mol Sci*. 2023;24(2):1749. doi: 10.3390/ijms24021749 » <https://doi.org/10.3390/ijms24021749>
- 32 - Figliuzzi MM, Giudice A, Pileggi S, Scordamaglia F, Marrelli M, Tatullo M, et al. Biomimetic hydroxyapatite used in the treatment of periodontal intrabony pockets: clinical and radiological analysis. *Ann Stomatol (Roma)*. 2016;7(1-2):16-23. doi: 10.11138/ads/2016.7.1.016 » <https://doi.org/10.11138/ads/2016.7.1.016>
- 33 - Agarwal S, Bali S, Aggarwal P, Garg A, Nautiyal A, Sharma M. Evaluation of the efficacy of oxygen-releasing gel as an adjunct to scaling and root planing in chronic periodontitis: a split-mouth randomized controlled trial. *J Int Clin Dent Res Organ*. 2024;16(2):157-62. doi: 10.4103/jicdro.jicdro_70_23 » https://doi.org/10.4103/jicdro.jicdro_70_23
- 34 - Palwankar P, Gupta S, Pandey R. Comparative evaluation of nanocrystalline hydroxyapatite and bioactive calcium phosphosilicate grafts in the treatment of class II furcation defects: a randomized controlled trial. *J Contemp Clin Pract*. 2020;6(1):22-32. doi: 10.18683/jccp.2020.1053 » <https://doi.org/10.18683/jccp.2020.1053>

原著・翻訳情報

PMID : 42690328 | DOI : 10.1590/1678-7765-2026-0115

原文確認資料 : <http://www.scielo.br/ijjaos/a/DjYHjGxqn8PXbJGKfnzt64t/?lang=en>

原著公開日 : 2026-08-31 | 翻訳日 : 2026-09-15

主文・全5表・式・図注の日本語訳 (原図・図中数値・補足資料は原著参照)

原著・翻訳の利用条件 : CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

非公式AI翻訳・歯科医師による監修未実施。原図、図中の文字、別ファイルの補足資料は含みません。研究方法・数値・結論は原著の記述であり、個別患者への診断・治療指示ではありません。原著と最新の診療指針をご確認ください。