

In vitro efficacy of three different implant surface decontamination methods in three different defect configurations

三つの角度の異なる欠損構成における 3 つの異なる

インプラント表面除去法の in vitro での有効性

David Keim | Katrin Nickles Bettina Dannewitz | Christoph Ratka
Peter Eickholz | Hari Petsos

Clin Oral Impl Res. 2019;30:550–558.

目的

インプラント周囲の骨欠損モデルに対し、3 つの異なるインプラント表面除染方法の in vitro の有効性の評価をすること。

材料と方法

インプラントの準備とモデル

研究のセットアップは Sahrman の方法に準じた。長さ 13 mm、直径 4.3 mm の 180 本のインプラント (Replace Select Straight, Nobel Biocare AB, Göteborg, Sweden)

を 5 秒間赤色 (Staedler permanent lumocolor, Nuremberg, Germany) で浸し、24 時間乾燥させてプラークで覆われた表面をシミュレートした。インプラントは、2 つの表面で構成された: (a) 歯冠側の機械加工表面 (1.5 mm) および (b) 根尖部の適度に陽極酸化された表面 (ラフサーフェス) 陽極酸化された表面と機械加工された表面の両方が完全かつ均一に覆われた。

In vitro の欠損モデルは、アクリルガラスの 3 つの異なる欠損角度 (骨内欠損として 30 度、60 度、および骨上欠損として 90 度) でコンピューター支援設計および製造された。 (Figure 1)。骨内欠損シミュレーションのインプラントは、10.75 mm (ラフサーフェスインプラント表面) をモデルに配置し、機械加工された表面を歯槽頂の位置にシミュレートした。したがって、骨上欠損のシミュレーションにより、機械加工されたインプラント表面およびラフサーフェスのインプラント表面がモデルの上部に位置づけられた。 (Sahrman et al., 2015) シミュレーション方法 3 つの異なるクリーニング方法が、60 本のインプラントのうちそのぞれ異なる角

度の 20 本ずつでテストされた。合計 180 本のインプラントが検査された。このプロセスでは、表面除染の

FIGURE 1 Lateral view of the different defect angulations (a) 30°, (b) 60°, and (c) 90°

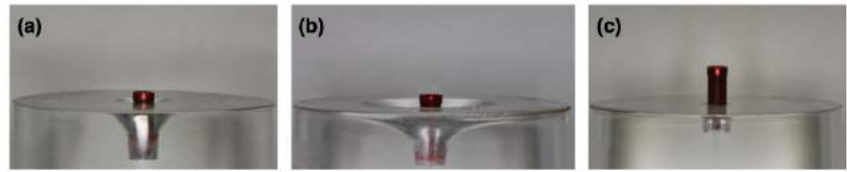


FIGURE 2 Engineering drawings of the three different defect models (a) 30°, (b) 60°, and (c) 90° each with an exemplary inserted photograph of an untreated implant (Replace Select Straight, Nobel Biocare AB, Göteborg, Sweden) 13 x 4.3 mm with 1.5 mm collar-height and 0.6 mm thread-distance

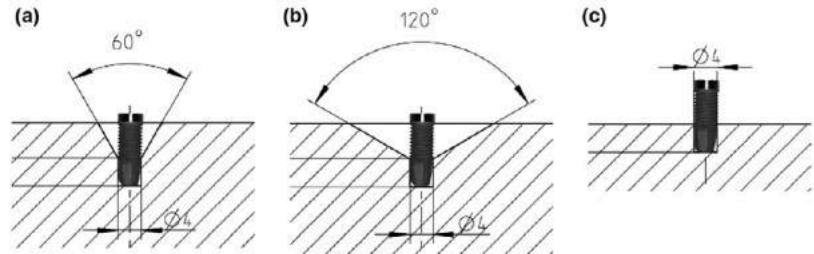


FIGURE 3 Three different cleaning methods (shown in defect angulation of 60°) (a) curette, (b) sonic scaler, and (c) air powder abrasion device (charged with glycine powder)

ために次の機器が使用された (Figure.3)。

Langer キュレット SL 1/26 [Curette: CUR (Hu-Friedy, Chicago, Illinois, USA)] スチール製 Ti-Max S970 エアスケイラー [Sonic scaler: SOSC (NSK Europe GmbH, Eschborn, Germany)] スチールチップ (S20, NSK) アクティブなイリゲーションでレベル 2 の出力調整を使用 (20ml/min)。

Perio-Mate air powder abrasion unit with glycine powder [Air Powder Abrasion: APA (Perio-Mate unit with Perio-Mate Powder, NSK)] and attached Perio-Mate nozzle tip (NSK) using the medium ejection setting for powder and water spray volume.

すべてのインプラントは同じオペレーター (DK) によって洗浄された。洗浄時間はインプラントごとに 2 分で、ストップウォッチを使用して制御された。洗浄プロセス中、作動距離と作動角度はオペレーターによって個別に選択された。インストルメンテーション後、溶解した色の残りを 3-way で 10 秒間すぐすぐで除去した。(Sahrman et al., 2015)。

写真の文書化と分析

各シーケンスの後、システム同等のインプラントドライバー (Implant Driver NobelReplace™ R Long, Nobel Biocare AB) で処理された表面に触れることなく、インプラントを個別に取り外し、個別に製造された非可動ホルダーに固定した。次に均一に照明されたテント内 (proxistar, Kastl, Germany) で、両側 (180 度)、リングフラッシュ (Canon ring flash MR-14, Tokyo, Japan)

付きの標準化 [31.4 cm distance, ISO 100, aperture f/32, exposure time 1/250 s (Sahrman et al., 2015)] されたコンディション下で全てのインプラントを同日内にデジタルで撮影 (Canon EOS 70D, Tokyo, Japan) した。(Figure 4)。

結果として得られた 360 枚の写真は、カラーレムナント用の写真編集ソフトウェア (Adobe Photoshop CS6, Adobe Systems) を使用して審査官 (DK) によって分析された。標準化された値と参照パターンは、それぞれのインプラント表面の残留色検出に使用された。そのため、リファレンスと各処理済みインプラントからのインプラント表面 (機械加工および粗面) は、両側で一度手動で選択され、マスクとして保存された。それから、すべての処理されたインプラントは、撮影された側面に従って、マスクによって容易に選択された。その後、参考写真 (色の残りが無いもの) は、「差異」モードで処理されたインプラント (色の残りが有る) の各写真

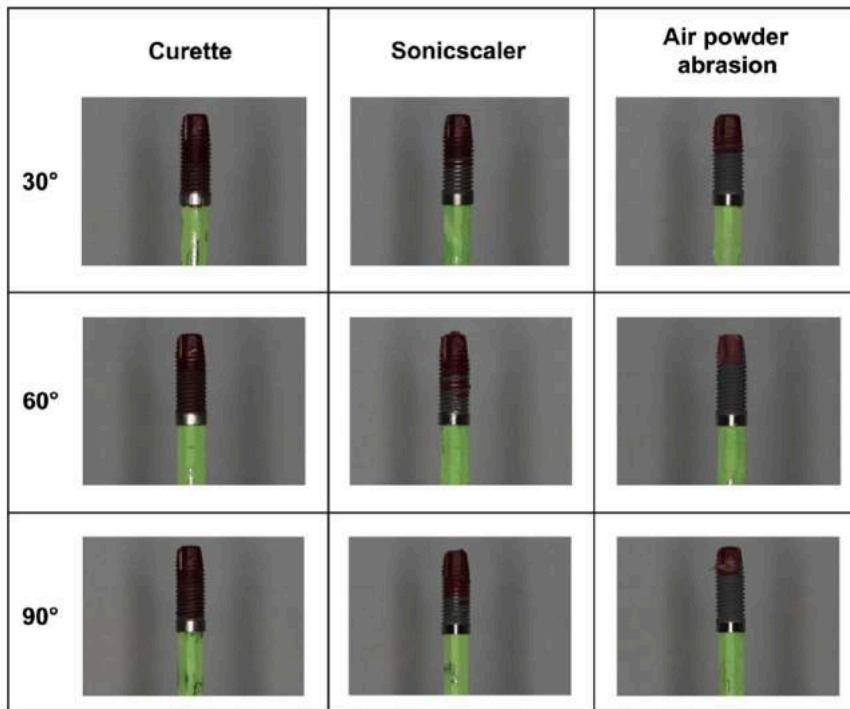


FIGURE 4 Detailed images of the cleaned surfaces according to treatment modality and defect angulation

によってオーバーレイされた。基本的な値(明るさ、コントラスト、シャープネス)は変更されていない。前述のソフトウェアは、選択したインプラント表面全体のパーセントとして記録された赤色の残骸を検出した。さらに、1つの未処理インプラント(参考)の機械研磨とラフサーフェスの走査型電子顕微鏡(SEM)画像(Philips XL 30 with lanthanum hexaboride cathode, 20 kv, 10 mm distance, Philips)と除染方法ごとに1つの処理済みインプラントが計測後に模範として、撮影された。(CR; magnification $1 \times 1,000$ and $1 \times 10,000$). すべてのサンプルは、自動スパッタコーターを使用して約 50 nm の層厚で金コーティングされた。(MSC2, KDF Electronic & Vacuum Services Inc.) (Figures 5 and 6).

統計的評価

インプラントは統計単位と見なされた。サンプルサイズの計算は実行されなかった。サンプルのサイズは、Sahrmann らの方法に従い、インプラントの再利用を行わずに各欠損角度と治療法ごとに 20 のインプラント

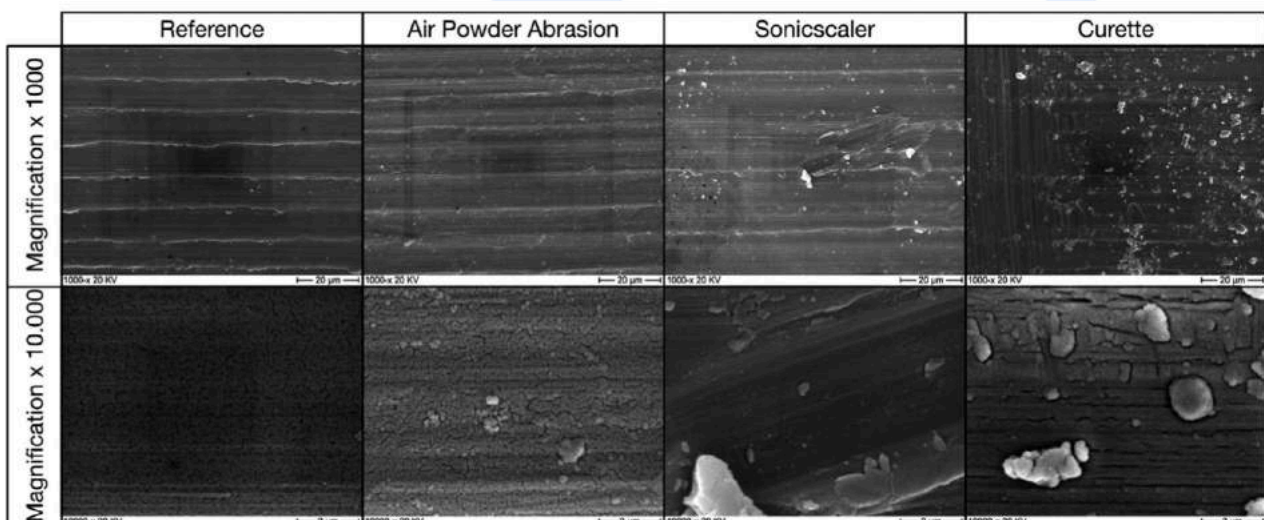


FIGURE 5 Scanning electron microscopy images of untreated (reference) and treated machined implant surfaces by different instruments at magnification of x1000 and x10,000

画像・文書・情報について複製や無断転載・複製を一切禁じます。
Copyright (C) 5-D Japan All Rights Reserved.

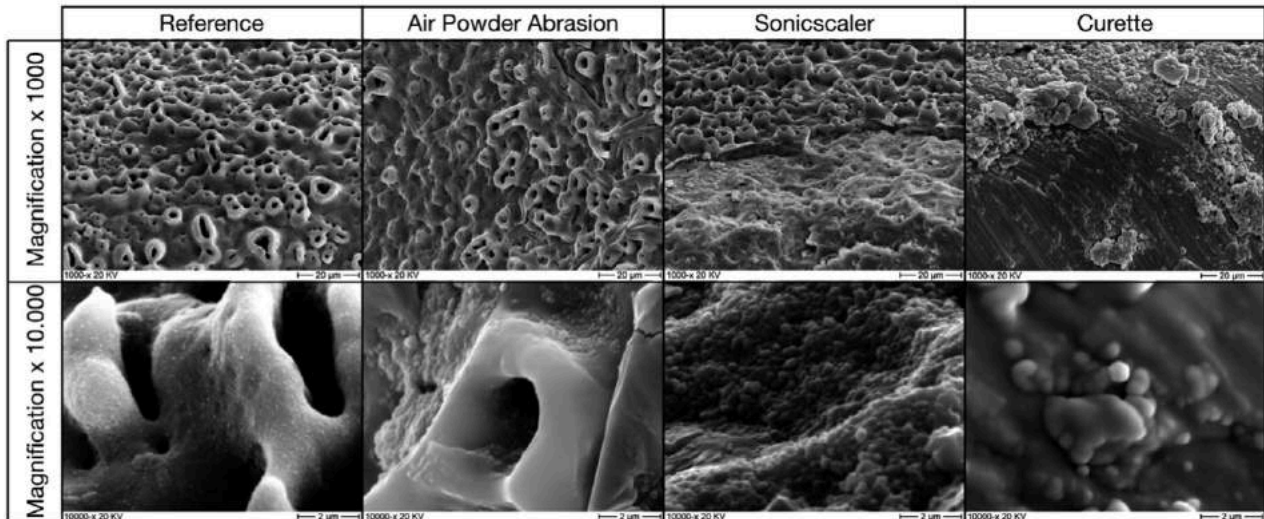


FIGURE 6 Scanning electron microscopy images of untreated (reference) and treated rough implant surfaces by different instruments at magnification of x1000 and x10,000

を使用して選択された。インプラントごとに、洗浄されていない表面の割合を計算した。最初に、コロモゴロフ-スミルノフ検定を使用して、データの正規分布をテストした。これに応じて、クリーニング方法と欠損サイズの記述データ(平均値、中央値、下位/上位四分位数、四分位範囲(IR)、および標準偏差)を分析し、非正規分布データのクラスカル・ワリス検定を使用してグループ比較を実行した。p 値<0.001 を有意水準として定義することにより、複数のテスト(36 回の比較)に対処した。統計評価は、IBM®SPSS®Statistics 24 ソフトウェアパッケージ(IBM, Armonk, New York, USA)を使用して実行された。この研究は、適切な EQUATOR ガイドラインに従って計画された。

結果

洗浄効率は、欠損の角度と洗浄方法ごとに大きく異なった。調査したインプラント表面には、色の残りが全くない(0%)ものはなかった。各処理済みインプラント表面の下部 4.75 mm はまだ着色が残っていた。この部分では、インプラントがアクリルガラスモデルで囲まれているためである(Figures 3 and 4)。欠損の角度に応じて、APA は中央値が 8.26% (30°、IR : 2.45)、0.04% (60°、IR : 0.06)、および 0.15% (90°、IR : 0.52) の最も低い色の残渣を示した。(Table 1)。これに続いて、20.32% (30°、IR : 4.33)、11.35% (60°、IR : 7.81)、および 11.80 (90°、IR : 9.34) の SOSC の有効性が認められた。CUR は、52.17% (30°、IR : 4.26)、59.75% (60°、IR : 7.15)、および 48.97% (90°、IR : 8.37) で最も低い洗浄効果となった。どの洗浄方法においても、角度の違いによって色の残渣量が大幅に異なる (p<0.001)。角度の違いは、SOSC-APA、APA-CUR では 30°から 60°の間、CUR-SOSC では 60°から 90°の間、SOSC-APA、APA-CUR では 30°から 90°の間で有意であった。(p<0.001)(Table 1)。

TABLE 1 Medians, means, and standard deviations [%] and p values (Kruskal-Wallis) of residual colored surface areas after treatment with three different methods: curette (CUR), sonic scaler (SOSC), air powder abrasion (APA). Separately presentation for different treatment methods and defect angulations. N = 20 for each treatment method in each defect angulation

Defect angulation	30°						60°						90°					
	Min. (mm)	Max. (mm)	Percentile (mm)			p value (30°-60°)	Min. (mm)	Max. (mm)	Percentile (mm)			p value (60°-90°)	Min. (mm)	Max. (mm)	Percentile (mm)			p value (30°-90°)
CUR	49.78	60.39	51.45	52.17	55.71	0.017	35.43	64.61	54.81	59.75	61.96	<0.001	39.01	54.63	44.04	48.97	52.41	0.011
Mean ± SD (mm)	53.44 ± 2.95						57.13 ± 7.03						48.1 ± 4.64					
p value (CUR-SOSC)	<0.001						<0.001						<0.001					
SOSC	13.58	26.18	17.38	20.32	21.71	<0.001	5.30	20.01	7.03	11.35	14.84	0.342	6.41	22.94	7.43	11.80	16.77	<0.001
Mean ± SD (mm)	19.69 ± 3.14						11.4 ± 4.42						13.07 ± 5.46					
p value (SOSC-APA)	<0.001						<0.001						<0.001					
APA	3.01	15.59	6.61	8.26	9.06	<0.001	0.00	1.10	0.02	0.04	0.08	0.66	0.00	3.05	0.05	0.15	0.57	<0.001
Mean ± SD (mm)	8.03 ± 2.43						0.13 ± 0.26						0.58 ± 0.88					
p value (APA-CUR)	<0.001						<0.001						<0.001					

Note: All significant results are in bold.

TABLE 2 Medians, means, and standard deviations [%] with according p-values (Kruskal-Wallis) of differences in between treatment methods and defect angulations for residual colored surface areas: Difference between curette and sonic scaler (CUR-SOSC). Difference between sonic scaler and air powder abrasion (SOSC-APA). Difference between curette and air powder abrasion (CUR-APA)

Defect angulation	30°						60°						90°					
	Min. (mm)	Max. (mm)	Percentile (mm)			p value (30°-60°)	Min. (mm)	Max. (mm)	Percentile (mm)			p value (60°-90°)	Min. (mm)	Max. (mm)	Percentile (mm)			p value (30°-90°)
CUR-SOSC	27.41	39.14	30.22	33.85	37.93	<0.001	28.44	55.41	40.29	46.46	52.03	0.012	21.23	48.22	29.93	34.33	42.17	0.004
Mean ± SD (mm)	33.75 ± 3.88						45.73 ± 7.4						35.03 ± 7.63					
p value (CUR-SOSC-APA)	<0.001						<0.001						<0.001					
SOSC-APA	0.32	23.17	8.45	11.96	13.43	0.942	5.22	19.98	6.97	11.30	14.79	0.942	6.21	22.90	7.04	11.21	16.61	0.942
Mean ± SD (mm)	11.66 ± 4.7						11.28 ± 4.36						12.49 ± 5.04					
p value (SOSC-APA-CUR-APA)	<0.001						<0.001						<0.001					
CUR-APA	37.36	57.38	42.80	44.82	46.54	<0.001	35.35	64.58	53.97	59.70	63.94	0.012	36.61	54.50	43.28	48.84	52.23	0.003
Mean ± SD (mm)	45.41 ± 4.26						57.01 ± 7.09						47.52 ± 5.13					
p value (CUR-APA-CUR-SOSC)	<0.001						0.004						0.003					

Note: Separately presentation for different treatment methods and defect angulations. N = 20 for each treatment method in each defect angulation. All significant results are in bold.

方法間の洗浄効果の割合の違いを比較すると、[CUR vs. SOSC (CUR-SOSC)、SOSC vs. APA (SOSC-APA)、および CUR vs. APA (CUR-APA)]の違いも見つかった (Table.2)。CUR と APA の差は、すべての欠損角度で最大であった (30° : 45.41±4.26%、95%CI : 43.42%– 47.41% ; 60° : 57.01±7.09%、95%CI : 53.69%–60.33% , and 90° : 47.52 ± 5.13% , 95% CI : 45.12%–49.92%)。これに続いて、CUR と SOSC の間 (30° : 33.75±3.88%、95%CI : 31.94%– 35.57% ; 60° : 45.73±7.4%、95%CI : 42.27%–49.19% および 90° : 35.03±7.63%、95%CI : 31.46%–38.6%)。すべての欠損サイズで、SOSC と APA の間は最小の違いであった。ボックスプロットは、CUR <SOSC <APA のクリーニング効果の順序を示しており、APA が最も強い効果を持っていることを明確に表している。(Figure 7)。

まず第一に、SEM 画像はインプラント表面の複雑な形態を示している。APA で洗浄した後の損傷領域に対応するインプラント表面から得られた SEM 画像では、機械研磨面でも粗面でも、重大な欠損物質は検出されなかった。機械研磨されているリングは、APA 処理後、表面の変化を示す前よりも滑らかであった。(Figure 5)。さらに、10,000 倍の倍率では、表面に色の残った凝集体またはプラスチック粒子が見られた。これらはおそらく、インプラントをアクリルガラスモデルに入れたり外したりすることで現れたものと考えられる。(Figures 5 and 6)。一方、SOSC と CUR は、1,000 倍の倍率でインプラント表面の損傷を残し、表面に対し鋭いエッジ (SOSC) または表面粒子の蓄積 (CUR) をもたらした。特にインプラントのラフサーフェスに大きな欠損が見られた。粗面および機械研磨面での参照と比較して、損傷は SOSC よりも CUR の方が大きいように見える。(CUR > SOSC > APA) 1,000 倍の APA は、SOSC または CUR よりもインプラント表面の完全性を視覚的に維持した。(Figure 6) 10,000 倍の倍率 (Figure 6) では、おそらく損傷した表面積に合わせて倍率が正確に調整されなかったため、この差はなくなった。

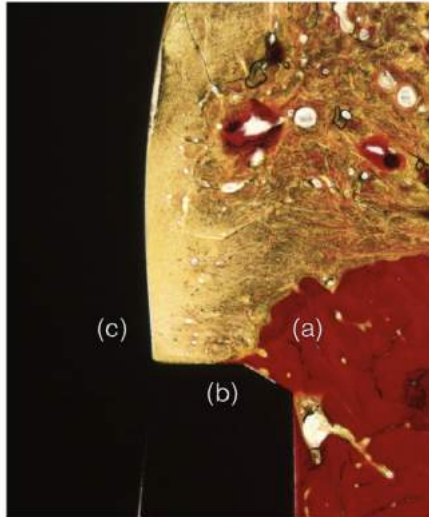


FIGURE 7 Microphotograph representing the buccal-lingual section of the lingual aspect of an implant from NE group showing the establishment of the biological compartment by the following structures: (a) the alveolar bone; (b) implant platform or implant shoulder; (c) and the implant abutment. Original magnification $\times 8$. Van Gieson staining

ディスカッション

洗浄方法の有効性に関して、CUR は最も効果のない方法であることが証明された。他の研究との比較可能性を促進するため、議論は中央値よりもむしろ平均値に焦点を当てている。この研究で CUR を使用した場合の色の残渣の割合は、 30° の欠損に対して 53.44% であり、これは Sahrman らの研究と比較すると 2 倍以上の値である (21.6%)。この結果は予想外ではなかった。これは、インプラント周囲および異なる角度の骨欠損の周囲表面除染にリジットなインスツルメントであるキュレットが使用される場合、日常臨床に現れる幾何学および形態学的な課題に直面するためである。SOSC は両方の研究で大部分が同等であったが、APA は 30 度の角度で 8.03% の残留色であり、この研究では Sahrman らの研究よりも残留色が明らかに少なく、16.1% であった。これは、使用されるノズルチップのより繊細なデザインに起因する可能性がある。APA と CUR または APA と SOSC の違いは有意であり、一方で同様の *in vitro* 試験の結果と一致している。(Sahrman et al., 2015, 2013). 異なるインプラント表面に対する最も低い洗浄効果を確認するための、同様の結果は、異なる表面正常に対する洗浄効果の依存性について議論したさらなる研究で得られている。(Schmage et al., 2014).

それにもかかわらず、今回の研究と Sahrman の洗浄効果に関する研究で比較したインプラントシステム間の洗浄効果の明らかな違いは様々な理由に起因する可能性がある。

使用可能なデータを拡張するために、異なるインプラントタイプが使用された。これは、マクロ設計とインプラント表面(陽極酸化表面)に関して、前述の研究で使用されたインプラントタイプ(エッチングおよびサンドブラスト)とは異なる。サンドブラストおよび酸エッチングされた表面により、小さなクレーターができ、材料の高いピークが減る。一方、陽極酸化された表面は、低マイクロメートル範囲の空孔を持つ微細構造の形態によって特徴付けられる。この異なる表面テクスチャーおよび結果として生じる粗さの程度は、バイオフィルムの付着のしやすさが異なり、したがって洗浄効果に違いをもたらす可能性がある。表面粗さの表現としての Sa 値は、使用されるインプラントによって $1.0\sim 2.0\mu\text{m}$ で異なる。(Albouy, Abrahamsson, Persson, & Berglundh, 2008). したがって、同等の表面粗さだけでは、洗浄効果の違いを説明できなかった。特に、Replace Select インプラントのマクロ設計は、スレッド数が多いため、スレッド下のキュレットのクリーニングとアクセスがより困難になる。(Figure 4). さらに、それは表面拡大をもたらし、これもまた異なる洗浄効果の促進し得る。Sahrman と比較して異なるインプラント表面が実際に結果にどの程度影響を与えたかは、最終的に答えることができない。

90° 欠損は、治療グループ CUR 内で最良の結果を示した。これは、 30° および 60° の角度に比べてアクセシビリティが優れているためである可能性があるが、SOSC および APA では、 60° の欠損で最良の結果

果が得られた。それにもかかわらず、これらの結果は 90° 欠損よりも有意に優れていなかった。90° の角度がある欠損ではアクセシビリティが良好であったはずであるが、60° の欠損では、スレッドの下の欠損壁からウォータージェットまたはグリシン粉末を反射させることで、より好ましい結果が得られた。その結果、60° 欠損のすべての処理方法の結果は 30° 欠損よりも良好で、これはおそらく、より広い欠損のアクセシビリティの向上が原因であったと考えられる。また、浸漬、乾燥時間、インプラントの単独使用など、細部にばらつきがある可能性があることにも注意が必要である。時間は詳細に説明されておらず、インプラントは Sahrman の研究で再利用されている。

調査の範囲内で、洗浄効率の違いは、異なる欠損角度によるものより、除染方法の間でより顕著であった。したがって、使用された治療方法内の中央値は、欠損の角度内よりも互いにはるかに近い。(Tables 1 and 2, Figure 7). APA を使用したクリーニングでは、すべての角度で大幅に優れた結果が得られたが、ノズルチップを使用したにもかかわらず、30° の急な角度の欠損では APA のクリーニング効果が低下した。したがって、前述のように、インプラント表面のアクセシビリティが役割を果たした。これは、非外科手術(Ronay et al., 2017) および外科手術(Sahrman et al., 2015) のシミュレーションに関する他の研究ですでに実証されている。

この研究では、インプラント表面への外科的アクセス、つまり粘膜骨膜弁の反転後に異なる洗浄方法が使用されることを想定している。外科的アクセスにより、インプラントのスレッドの下をきれいにできる。この研究では、非外科的アプローチによる 3 つの方法の洗浄効果に関する情報は提供されていない。

最後に、Sahrman が示すように経験も役割を果たす。今回の研究のオペレーター(大学院トレーニングの 2 年目)と比較して、経験豊富なセラピストは同じ条件下で異なる結果を達成した可能性がある。

SEM 画像を使用して、インプラント表面への損傷の可能性を参照し、さまざまな治療法を使用して調査した。本研究で文書化されたように、キュレットまたはソニックスケーラーで計測した後、インプラント表面の変化を実証することができた。Mengel, Buns, Mengel, & Flores-de-Jacoby, 1998 では、SEM 画像の分析において、通常先端を備えた金属キュレットとソニックスケーラーについて、異なるインプラントシステムの表面での高い物質除去を示した(Mengel et al., 1998)。これらの結果は、粗さの値が増加するにつれて元のテクスチャの喪失とチタン試験片の不規則な表面を説明する、さらなる研究によって確認された。

(Schmage, Thielemann, Nergiz, Scorziello, & Pfeiffer, 2012; Unursaikhan et al., 2012)。これらの結果は、本研究によって確認された。今研究において、機械研磨された表面(Figure.5)およびラフサーフェス(Figure.6)に対し、キュレットおよびソニックスケーラーで処理した後の変化に匹敵する深刻な変化は、エアアブレーションを使用した場合には認められなかった。これは、他の既存の in vitro 試験と一致している(Sahrman et al., 2015, 2013)。

臨床研究によると、細菌のプラークで汚染されたインプラントに対し、キュレットまたはソニックスケーラーで処置をした後、生体適合性が低下することが示されている。(Louropoulou, Slot, & Van der Weijden, 2015)。これが表面の不完全な除染によるものか、表面の損傷によるものか、その両方によるものかは不明である。表面の粗さに加えて、その製品によるインプラント表面のさまざまな変更は、提示された結果に関連する可能性がある。生体内において、インプラント表面自体は、おそらくインプラント周囲の生体適合性に関して異なる反応を起こす。本研究で使用されたのと同じインプラント表面の実験的インプラント周囲炎モデルに関する動物実験では、インプラント周囲炎の自発的な進行は、異なる幾何学的設計と表面特性を持つインプラントで発生したと結論付けられた。(Albouy et al., 2008)。これらの違いは、異なる組織学的、炎症に関する応答を引き起こした可能性がある(Albouy, Abrahamsson, & Berglundh, 2012; Albouy, Abrahamsson, Persson, & Berglundh, 2009)。

バイオフィームで汚染されたインプラント表面は、損傷しているがバイオフィームのない表面よりも悪い場合がある。最良の選択肢は、バイオフィームを除去し、チタンの表面をそのまま残すことである。臨床においては、インプラント周囲欠損の外科的治療において、前述のあらゆる種類の欠損におけるキュレットおよびソニックスケーラーと比較して、エアパウダーアブレーション装置の使用が推奨されるべきであることを示唆している。ただし、歯肉縁下の硬い沈着物(すなわち、歯石)が見つかった場合、エアパウダーの摩耗によってそれらが除去される可能性は低く、損傷の可能性に関係なくキュレットまたはソニックスケーラーを使用する必要がある。

以下の側面は、この研究の制限として考慮しなければならない: 一方で、さらなる口腔特有の影響をシミュレートせずに、in vitro モデルで「人工プラーク」として色を使用すると、臨床的な状況に近似した模倣のみが可能になった。それにもかかわらず、このモデルは比較可能であるという理由で選択された。さらに、残

渣の赤色により、インク残量をデジタルで直接測定することが容易になった。写真は単一の角度から評価されたため、これにより、スレッドの上部フランジまたは下部フランジの色の残りが他の調査よりも不正確になる(Sahrmann et al., 2015)。生体内では、外科医の経験によるが、処置前にフラップを開くことでインプラント周囲の骨欠損が視覚化される。(de Waal et al., 2016)。

この研究の範囲内での結果は、エアアブレーションが最も効率的であり(APA> SOSC> CUR)、またこの in vitro モデルでは、各欠損の角度形成に対する表面損傷が少なくなり、より急な欠損では効果が低下する。だが、外科的なインプラント周囲炎治療における表面除染のために APA を使用するためにはさらなる臨床研究が必要である。

報告の 考察

Herman らが(J Periodontol 1997;68:1117-1130)以前に報告したインプラント周囲の生物学的幅径に関する実験と同様の実験を行い、レントゲン評価を加えたものである。

この二つの文献から、いえることはインプラント周囲のソーサリゼーション(saucerization)は、少なくとも2つの事象が影響することである。ひとつは表面性状の違いであり、Type A と Type B の結果の違いと Type D と Type E の同じ結果により、骨は表面性状の違いに影響を受けることがわかる。二つ目は、接合部と骨の位置関係である。

Type C、D、E の値が同様な結果になっていることは、予想することができ、Type F が最も深くなっており、接合部の深度の違いが影響することはわかる。しかし、実験系としては、致し方ないことであるが、Type A と Type B にスレッドが付与されていた場合の違いすべてがラフサーフェイスであった場合も報告すれば(後に報告されている)、より多くの情報があったように思う。

報告者 成田久人
船登 彰芳