

光誘導蛍光定量法（QLF法）を応用した 歯垢歯石検査用ライトの開発

日本小動物歯科研究会

網本 昭輝（アミカペットクリニック）
杉本 大輝（アミカペットクリニック）
藤田 桂一（フジタ動物病院）
本田 洋（本田動物病院）
江口 徳洋（Vets Dental & Oral Surgery Office）
加藤 郁（加藤どうぶつ病院）
倉田 大樹（ワールド動物病院）
大場 茂夫（元日本大学）
幅田 功（センターヴィル動物病院）

光誘導蛍光定量法（QLF法）を応用した 歯垢歯石検査用ライトの開発

日本小動物歯科研究会：網本昭輝（アマカペットクリニック）、
杉本大輝（アマカペットクリニック）、藤田桂一（フジタ動物病院）、
本田洋（本田動物病院）、江口徳洋（Vets Dental & Oral Surgery Office）、
加藤郁（加藤どうぶつ病院）、倉田大樹（ワールド動物病院）、
大場茂夫（元日本大学）、幅田功（センターヴィル動物病院）

はじめに

1995年に光誘導蛍光定量法（QLF法：Quantitative Light-induced Fluorescence）という光学診査技術を応用した、特定の波長のライトを歯垢や歯石に照射することで、その中に含まれるポルフィリンがピンクから赤色に発色することが報告された²。その後、この技術を用いた歯垢検査用のライトが2010年に日本ヒルズ・コルゲートから提供され、歯垢や歯石をよりわかりやすく可視化することが可能となった^{1, 3}。飼い主と問題点を明確に共有することで、口腔衛生への理解を深めることに大きく貢献した。この器具の提供がなくなり、その後は他社から提供された類似のライト（非売品）や波長が近い市販のブラックライトなどが使用されてきたが、発色や明るさにばらつきがあり、より安定した評価が可能な器具の開発・販売が望まれていた。今回、光学の専門家の意見を取り入れながら、歯垢歯石検査用ライトの開発を行い製品化することができたのでその概要を報告する。

光誘導蛍光定量法（QLF法）

QLF法は青紫色の可視光を歯の表面に照射することにより、清潔で損傷のないエナメル質は白色に、歯垢・歯石が沈着した箇所は赤紫からオレンジ色の蛍光を発するとされている。この赤紫色、オレンジ色の蛍光は細菌の代謝産物のポルフィリンによるものであり、細菌の存在および活性の証拠とされている^{1~5}。

人では歯垢の蛍光強度が強い場合、多くの歯周病関連細菌が検出される傾向があり、歯垢の蛍光強度は歯垢の成熟に伴う蛍光物質の蓄積に関連しているとの報告がみられる⁴。また、光学的診査技術は歯垢の視覚化のみならず、歯垢の定量的評価や質的評価に応用できる可能性があること⁵や、歯石の検査⁷、歯磨き剤の効果の検査⁶、などに応用した報告がされている。そして、最近

（2016、2018年）になって犬でもこのライトでの検査が歯垢、歯石を判定するのに信頼度の高い方法であることが報告された^{8, 9}。

QLF法で報告されているのは波長だけで、電圧や集光方法³についての詳細で統一された記載が少ないので、さまざまな条件下で治験を行い適正なライト（歯垢歯石検査用ライト）の開発を行うこととなった。

歯垢歯石検査用ライトの使用目的

歯垢歯石検査用ライトの使用目的は、①歯垢・歯石の沈着程度の検査、②歯磨きしている犬や猫での磨き残しの指摘・指導、③麻酔下歯石除去時の取り残しの確認、着色との判別、④ホームデンタルケアでの活用を目的としている。

開発の要点

開発にあたり、検査結果がよりわかりやすいライトを作成するため、波長、光量、集光の3項目について検討した。QLF法に用いられる青紫色の光の波長は405±20nmとの記載がみられるので^{3, 7}、今回はこの波長域のライトを比較検討した。波長の異なるライト（380～420nm）を用意し、最も効果的に発色する波長を調べた。また、集光方法、電圧などのちがいで大きな差がみられるため、これらの仕様についても検討した。さらにライトの耐用性、安全性についても調査した。

その結果、波長が短いと光はほぼ無色、歯石の発色はやや薄いオレンジ色に発色し、波長が長いと眩しいほど青白く照射され、発色している箇所の境界が不明瞭であった。これらの結果から、405nmの波長が最も強く発色し、境界明瞭な赤紫から濃いオレンジ色で、みえやすいことが確認された。光量はライトの電圧によって、集光はレンズの形状や焦点調節によって変化した。また、光量や集光が強いライトは眩しさを感じ、発色部や色の

境界がみえにくくなったため、集光せず、照射範囲が広いほうが検査に適していた。電圧は低いよりも高いほうが明るく照射域も広がった。最終的にライトの規格“4.5V、曲面レンズなし、焦点調節なし”の条件で適度な発色が得られたのでこれを採用し、《光源：UV-LED9個、波長：405nm、電圧：4.5V、集光なし》とした（図1）。

ライトの安全性

ライトの安全性については、レーザ製品の安全基準（JIS C6802）に基づく分類では、今回作成したライトは危険度が低い「クラス1M～2」に該当し、これは防護眼鏡などが不要で、長時間直視しなければ安全といえるレベルであった。動物で同じことがいえるかは不明であるが、検査時に極力眼を照らさないようにし、光線過敏症などの特殊な場合に注意すれば、十分に実用可能なレベルと考える。

ライトの耐用性試験

ライトの耐用性については「寿命試験」（連続点灯1,000時間・光量減衰率80%）、「ON/OFF試験」（ON/OFFを100回くり返す）を福岡県工業技術センターにて実施し、ともに目標値をクリアした（※耐用性試験はライト本体の試験で、電池の耐用性試験および保証ではありません）。

実地試験

完成したライトを使用し、日本小動物歯科研究会会員の診療施設における犬猫の診察時に、①歯垢・歯石の沈着程度の検査、②歯磨きの磨き残しの検査、③麻酔下歯石除去時の取りの残しの検査、そのほか家庭での検査などを行い、検査時の飼い主の感想（理解度）や、ライトを使用した獣医師の評価などを調査した。

結果

歯垢・歯石の沈着程度の検査

歯垢歯石検査用ライト（図1）を使用して歯垢・歯石



図1 開発した歯垢歯石検査用ライト

の沈着程度の検査を犬と猫で行ったところ、歯垢・歯石は赤紫や濃いピンク色に発色し、沈着が広範囲で重度なものほど特に明瞭に検出された。発色や蛍光の強さは、歯垢・歯石の沈着が軽度であると薄いピンク色になることが多く、沈着が重度であるほど蛍光の発色の程度が明瞭になる傾向がみられた（図2）。

また、検査（犬50頭、猫17頭）に対する飼い主の感想は76%で「とてもよくわかる」もしくは「よくわかる」とのことで（図3）、検査後に歯石除去の予約や、歯磨きを実践するなど、口腔衛生の改善につながった症例は全体の61%にのぼった（図4）。

歯磨きをしている犬猫の磨き残しの検査

歯磨きを中心としたデンタルケアを実施している犬猫に対して、歯垢歯石検査用ライトを使用し磨き残しの検査を行ったところ、きれいに磨けている部分は白い色に発色し、磨き残しがみられた部分は、程度により薄いピンク色から赤紫色の発色がみられた。

歯磨きが不十分な箇所は赤紫から濃いピンク色に発色するため、飼い主にもわかりやすく、磨き残しの指摘やデンタルシートでは磨きにくい場所などの詳細な指摘も可能であった。磨き残しの部分は症例によってさまざまであったので、歯磨きの指導は個別に行う必要性を感じた（図5）。

検査の結果、歯磨きをしている犬猫（犬51頭、猫9頭）の93%の症例で全体か一部の磨き残しが検出され、歯磨きが十分にできていない症例が多いことが判明した（図6）。

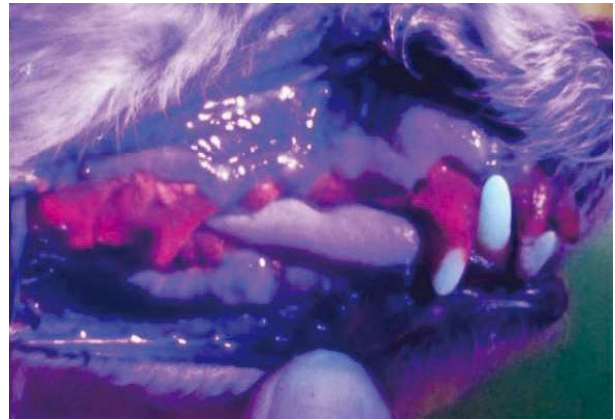


図2 歯垢・歯石の沈着程度の検査

13歳齢、雌のトイ・プードル。歯磨きができず、重度の歯垢・歯石の沈着がみられた症例。歯垢歯石検査用ライトを照射したところ、歯垢・歯石は赤紫や濃いピンク色に発色した。発色の強さ、蛍光の強さは、歯垢・歯石の沈着が軽度だと薄いピンク色になることが多く、沈着が重度であるほど蛍光の発色の程度が明瞭になる傾向がみられた

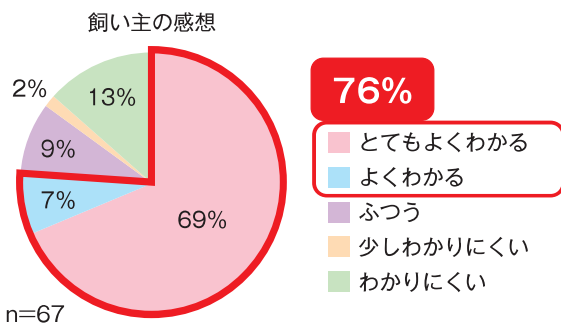


図3 歯垢・歯石の沈着程度の検査時の飼い主の感想
歯垢歯石検査用ライトでの検査に対する飼い主の感想は、「とてもよくわかる」「よくわかる」で76%を占めていた

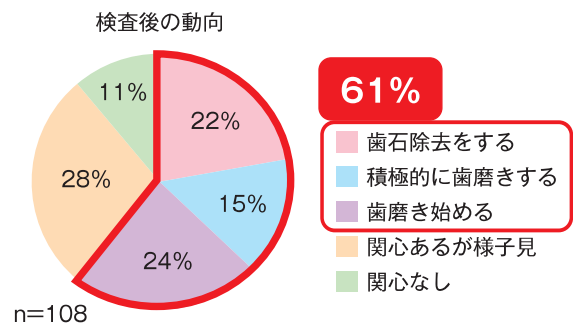


図4 歯垢・歯石の沈着程度の検査後の動向
検査後に歯石除去の予約や、歯磨きを実践するなど、口腔衛生の改善につながった症例は全体の61%にのぼった

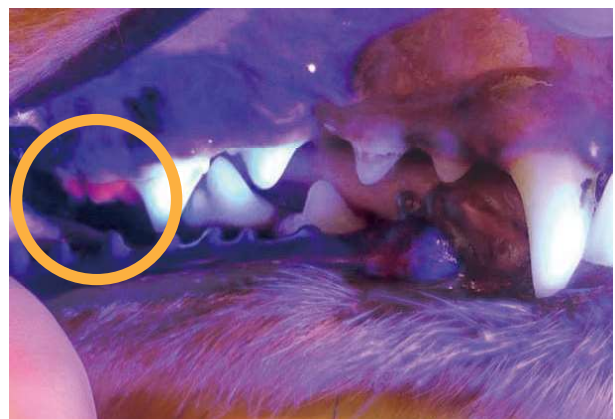


図5 歯磨きをしている犬の磨き残しの検査

7歳齢、雄のミニチュア・ダックスフント。毎日歯ブラシと歯磨きペーストで歯磨きをしている症例。この症例では右上顎の一番奥、第1後臼歯の部分に、ライトによる発色がみられ磨き残しがあることが明確に判定できた (○印)

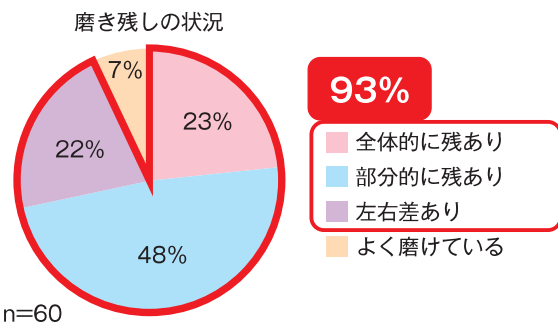


図6 歯磨きをしている犬猫の磨き残しの状況
歯磨きを実施している犬猫の93%の症例で全体か一部の磨き残し
が検出され、不確実な実施が多いことが判明した

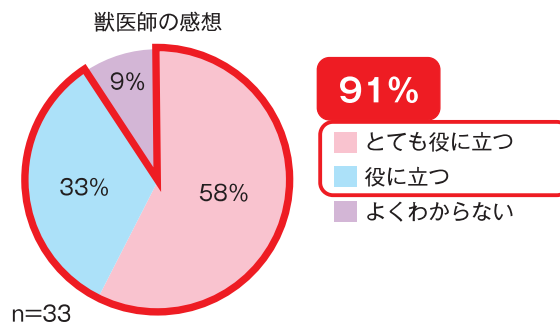


図8 麻酔下歯石除去時の取り残しの検査に対する獣医師の感想
麻酔下歯石除去時に検査用ライトを用いた獣医師の感想では、
91%で「とても役に立つ」「役に立つ」という回答が得られ、被毛
の白い犬に使いやすいことも利点として挙げられた



図7 麻酔下歯石除去時の取り残しの検査
15歳齢、去勢雄のミニチュア・ダックスフント。麻酔下でおおまかに歯石を除去したあと、歯垢歯石検査用ライトを歯面に照射したと
ころ、取り残しの部分は薄紫から薄いピンク色に発色した (→)

麻酔下歯石除去時の取り残しの検査

麻酔下歯石除去時、おおまかに歯石を除去したあとの取り残しの確認のために、歯垢歯石検査用ライトを使用した(犬30頭、猫3頭)。取り残しのある部分は薄紫から薄いピンク色に発色し、歯石だけでも発色の反応がみられた(図7)。歯垢・歯石の細かい取り残し箇所だけを素早く検出することができるため、歯垢染色液で全体を染めるよりも効率的であると感じられた。また、歯冠の変色や着色で歯垢・歯石と鑑別がつきにくい場合も、ライトを照射することで判定可能であった(変色や着色は全く発色がみられない)。ライトを使用した獣医師の感想では91%で役に立つという好感触が得られた(図8)。

そのほか家庭での歯磨き時に歯垢歯石検査用ライトで検査を行ったところ、家庭でも磨き残しが検出でき、積

極的な飼い主にとってはライトによる検査は大変興味深いようで、中にはライトの購入を希望されるケースもみられた。

考察

歯垢・歯石検査としてQLF法を用いた検査は以前から行われ^{1~3}、その有用性はすでに知られており、様々なライトが応用されてきた。しかし、2010年に提供された日本ヒルズ・コルゲートのライトに匹敵するものはみられず、それが今回の開発のきっかけとなった。幸いにも光学の専門家の意見を聞きながら開発を行うことができ、臨床に役立つライトが開発できたものと考えている。

歯垢歯石検査用ライトの使用は、歯垢の付着や歯石の沈着程度を印象深く明確にでき、さらに、赤く発色する

ことで細菌が付着しているイメージがもてるため、口頭だけで説明していたときよりもはるかに効率よく飼い主の理解が得られ、さらに口腔衛生に対するモチベーションを上げることができたと思われる。歯磨きをしている飼い主に対し、磨き残しの検査・指導をすることも容易となった。また、麻酔下歯石除去処置において、歯垢染色液の代わりに用いて取り残し箇所を確認することにも利用可能であったことから、口腔衛生に大変役立つ器具であると思われる。

安全性や耐用性も実用に足るものであり、検査結果がわかりやすく、時間もかからず、獣医師と飼い主の双方にとってメリットの大きい検査法であることが示唆され

た。1歳齢未満からの口腔衛生が重要視されるなか、予防や早期治療に重点を置いたデンタルケアにおいてきわめて有用であると考えられた。

この歯垢歯石検査用ライトがより多くの動物病院で聴診器と同じように使用され、また、口腔衛生を指導する現場で、家庭で広く応用されることを願う。

謝辞

今回の歯垢歯石検査用ライトの開発に当たり、終始ご指導、ご協力をいただいた歯っぴー（株）代表取締役の小山昭則氏に感謝いたします。

参考文献

1. 網本昭輝：犬と猫の口腔衛生—デンタルケアの効果的飼い主教育のための実践的な方法.MVM,20,129,P75-80（2011）
2. Dolowy WC, Brandes ML, Gouterman M, Parker JD, Lind J : Fluorescence of dental calculus from cats, dogs, and humans and of bacteria cultured from dental calculus, J Vet Dent, 12(3), 105-109 (1995)
3. 日本ヒルズ・コルゲート（株）社内資料：犬の歯の細菌／細菌生産物蓄積の光誘導蛍光定量法による検出：食餌と時間の影響（2010）
4. 川崎弘二、日吉紀子、酒井怜子、小室美樹、安達郁、吉田邦晃、田中浩二、河村泰治、西村有祐、西田知加、神原正樹：QLF法により測定した歯垢の蛍光強度と歯周病関連菌の分布の関係、口腔衛生学会雑誌, 57, 5, 692（2007）
5. 奥村紀子、川崎弘二、上村参生、高島隆太郎、酒井怜子、田治米元信、小室美樹、吉田邦明、田中浩二、神原正樹：歯垢の評価に対する光学的診査技術の応用、口腔衛生学会雑誌, 56(5)p15（2006）
6. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : A study to assess the efficacy of a new detergent free, whitening dentifrice in vivo using QLF planimetric analysis. Br Dent J. Nov 13;197(9)561-6（2004）
7. Qin YL, Luan XL, Bi LJ, Lü Z, Sheng YQ, Somesfalean G, Zhou CN, Zhang ZG. : Real-time detection of dental calculus by blue-LED-induced fluorescence spectroscopy.J Photochem Photobiol B. 2007 May 25;87(2):88-94. Epub 2007 Mar 7（2007）
8. Wallis C, Gill Y, Colyer A, Davis I, Allsopp J, Komarov G, Higham S, Harris S : Quantification of Canine Dental Plaque Using Quantitative Light-Induced Fluorescence. J Vet Dent. Mar;33(1):26-38（2016）
9. Wallis C., Allsopp J, Colyer A and Holcombe L J: Validation of Quantitative Light-Induced Fluorescence for Quantifying Calculus on Dogs' Teeth. Journal of Veterinary Dentistry,Vol. 35(3) 187-194（2018）