

原 著

10%糖質水溶液洗口によるエナメル質表面 pH の経時的変化 —微小接触型 pH 電極の *in vivo* 応用—

小黒 章, 江川 広子, 本間 和代

明倫短期大学歯科衛生士学科

The pH Change on Enamel Surfaces Following Mouthrinse with 10% Aqueous Sugar Solutions

— *In vivo* Use of Palladium Touch Microelectrode —

Akira Oguro, Hiroko Egawa, Kazuyo Honma

Department of Dental Hygiene and Welfare, Meirin College

う蝕は、口腔微生物による、糖を基質とする有機酸産生が歯表面の pH の低下をもたらし、これを繰り返すと発症すると云われている。しかし、*in vivo* において未だこの本態は確認されていない。そこで我々は、微小接触型 pH 電極 Beetrode (NMPH3, NMPH3L) を *in vivo* 応用し、上、下顎中切歯間隣接面、上、下顎第 2 小臼歯第 1 大臼歯間隣接面、上、下顎第 1 大臼歯咬合面小窩の計 6 部位における、蔗糖、ブドウ糖、麦芽糖、ソルビトール 10% 水溶液 10 秒間含嗽後の経時的 pH 変化 (ステファン曲線) を観察し、糖質水溶液洗口をきっかけとする歯表面の pH 動態解析を試みた。実験結果からは、蔗糖による pH 低下が 4 糖質種中最も大きく、ブドウ糖による効果がこれに次ぎ、ソルビトールによる pH 低下は全被験部位において観察されなかった。部位的には上顎臼歯部咬合面小窩における pH 低下が最大であり、上下顎前歯部における変化はどの糖にも認められなかった。これらの pH 変化は歯質脱灰の臨界 pH (pH 5.5) 域を大きく下まわることにはなかったが、高う蝕経験の被験者に見られた上顎臼歯部咬合面の蔗糖による pH 低下は、歯質脱灰の可能性を示し、歯表面 pH の変動とう蝕経験の関連性を示唆した。

キーワード：糖質水溶液、洗口、歯表面 pH、微小接触型 pH 電極

The purpose of this study was to examine whether the pH changes by daily food and drink intake, with a model of mouthrinse with sugar solutions, really affect the caries feasibility *in vivo*. The pH changes on maxillary and mandibular interproximal enamel surfaces between central incisors, between the 2nd premolar and the 1st molar, and in pits of the 1st molar were observed for the time course with a microtouch pH electrode, Beetrode (NMPH3, NMPH3L) following 10 sec mouthrinse with 10% aqueous sugar solutions, sorbitol, maltose, glucose and sucrose, respectively. A classical 'Stephan curve' was not always apparent; however, sucrose was most effective for pH decrease followed by glucose, while sorbitol was least effective among the four examined sugars. The pH change in pits of the maxillary molar was most remarkable. Some of results in this study correspond with established knowledge while others require further investigation.

Key words : pH, Enamel surface, Mouthrinse, Sugar

結 言

う蝕は多因子性疾患であるが、口腔微生物が糖を基

質として産生する有機酸により歯表面の pH が繰り返し低下し、その結果もたらされる歯質脱灰がう蝕の初発であると考えられている¹⁾。

実験的な歯垢の pH 低下は糖質を含む水溶液の洗口によって確認され、その経時的変化はステファン曲線²⁾として知られている。こうした実験的条件下においてステファン曲線に影響する主要な因子は歯垢の aging³⁾、唾液の流量⁴⁾と緩衝能⁵⁾であり、pH 5.5 がエナメル質脱灰の臨界 pH であるとされている⁴⁾。しかし、糖質を含む食品や飲料を日常摂取する際、歯表面の pH が時間とともにどのような変動を示すか、生理的口腔状態においてはまだ確かめられていない。さらに、その変動とう蝕罹患の関連についての報告も見当たらない。

また、これまで、歯表面の pH 変動の計測器として野外調査や集団検診に容易に応用できるものがなかったが、最近、特性の優れた微小接触型 pH 電極の開発により歯表面の pH 測定は比較的容易になってきた⁶⁾。そこで我々は口腔内における、糖質を含む食品や飲料摂取に伴う歯表面の pH 変動とう蝕経験の関連を研究する計画を立てた。今回はそのパイロット・スタデーとして、糖質水溶液洗口時にう蝕好発部位とされる口腔内特定部位における pH 変化が糖質の種類によってどのような動向を示すか、さらに少数例ではあるが個体のう蝕経験の違いによる動態の差をも併せて検討したので報告する。

実験材料と方法

被験者：被験者は 20 歳の女子学生 3 名である。被験者 A はう蝕経験がなく、被験者 B の DMFT は 5 (臼歯部のみ罹患)、被験者 C は DMFT 18 (前歯部 6 歯、臼歯部 12 歯) であった。

Time 0 すなわち糖質水溶液洗口前における被験者の口腔清掃状態は、歯磨剤を用いたブラッシング後 1 ないし 2 時間を経過し、O'Leary の Plaque Control Record が 10 から 20% に相当する状態であった。

糖質溶液と測定部位：ソルビトール、麦芽糖、ブドウ糖 (試薬 1 級；和光純薬)、蔗糖 (グラニュー糖；マルハ製糖) 10% (w/w) 水溶液 10 ml を用い 10 秒間含嗽後、特定歯面、すなわち $\overline{1} | \underline{1}$ (唇側) および $\overline{1} | \underline{1}$ (舌側) 歯間隣接面、 $\underline{5} \underline{6}$ および $\overline{5} \overline{6}$ 唇側歯間隣接面、 $\underline{6}$ 、 $\overline{6}$ 咬合面小窩における pH 変化を経時的に計測した。測定に当たり、修復の施されている箇所を避け、計測できる左右のどちらか一方のデータを用いた。

pH 測定：pH 測定にはイオンメーター (オリオン社 290A；ボストン, MA, 米国) に電極オフセット (WPI 社 BEECAL；サラソタ, FL, 米国) を介し、pH 電極 (Beetrode-NMPH3, -NMPH3L；WPI)、比較電極

(DRIFEF-2；WPI) を接続し使用した。電位と pH の読み取りは、被験者の人差し指を、比較電極を投入した 3 MKCl (試薬特級；和光純薬) 水溶液中に浸漬し、測定者が被験者歯面に pH 電極をあてに行った。pH 電極は、測定の都度、蒸留水を用いて洗浄した。

予備実験において 1 クール 50 分を単位とする連続的な測定の影響はないと思われたので、可及的に連続して洗口実験を行った。測定部位の選定はランダムに、しかし 6 部位を連続して、蔗糖、ブドウ糖、麦芽糖、ソルビトールの順に糖質種毎に計測した。

結果と考察

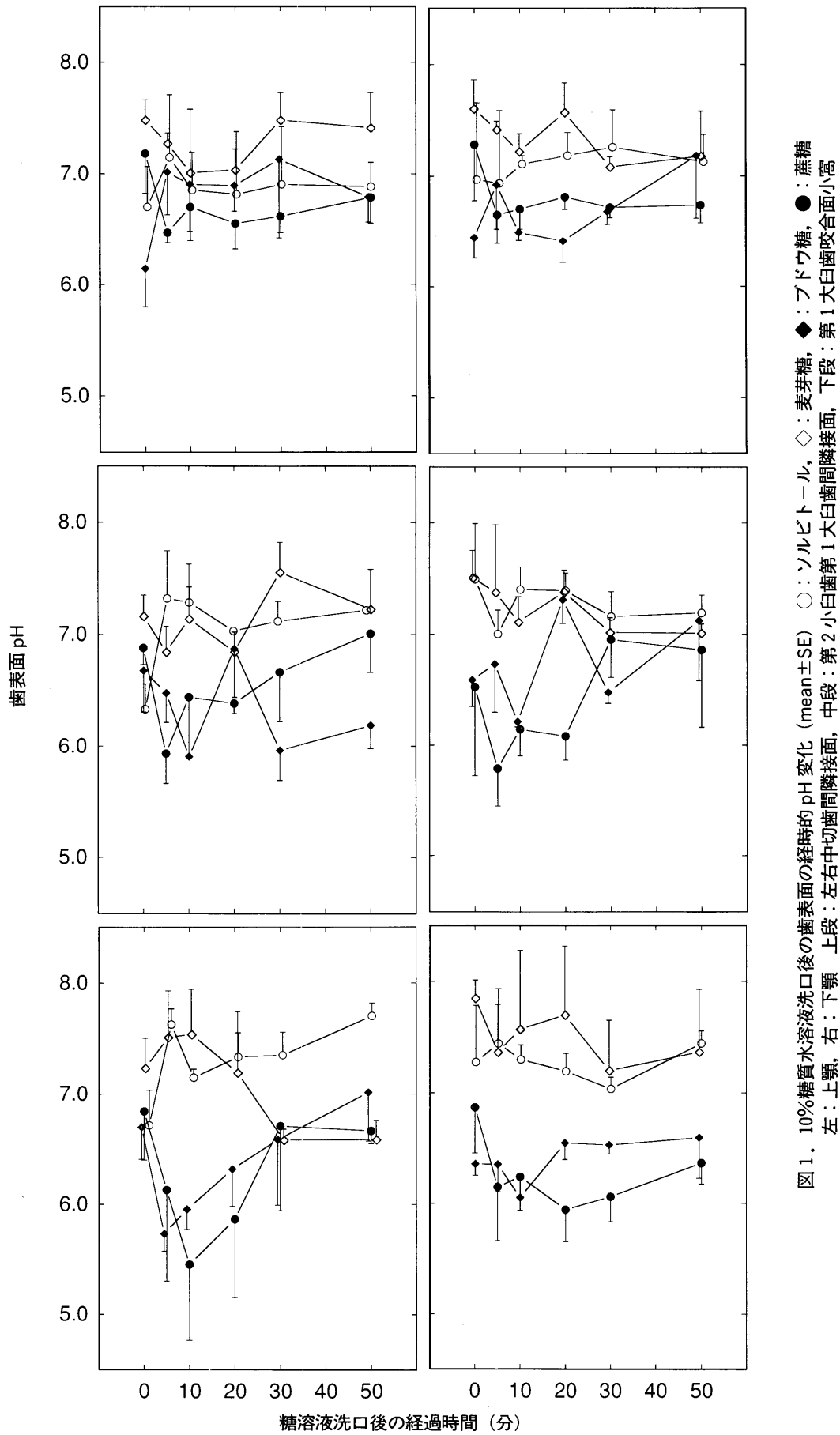
1. 糖質水溶液洗口後の歯表面 pH の経時的変化

図 1 に 10% 糖質水溶液洗口後の歯表面の経時的 pH 変化を測定部位別、糖質別平均値 (n = 3) を用いステファン曲線として示した。

1) 糖質種と pH 変化 - 蔗糖、ブドウ糖、麦芽糖、ソルビトールの 4 種の糖質のうち、蔗糖、ブドウ糖水溶液洗口後に、明らかな pH 低下が認められた。麦芽糖水溶液による洗口では上顎の 3 計測部位において僅かな pH 変化を認めたが測定誤差の範囲を越えるものではなかった。ソルビトールは口腔微生物に利用され難い糖質とされ、本実験においてもほとんど pH 低下が見られなかった。したがって、コントロール試料として用いた。

蔗糖とブドウ糖による洗口後の pH 変化は、測定部位によってはほぼ同じ傾向を示したが、上、下顎第 1 大臼歯咬合面小窩、下顎第 2 小臼歯第 1 大臼歯隣接面間、上顎左右中切歯隣接面間において蔗糖による洗口後の pH 変化の方がより大きかった。

2) 計測部位別にみた経時的 pH 変化 - 測定部位のなかで最も大きい pH 変化は、蔗糖を用いた洗口後、上顎第 1 大臼歯咬合面に認められた。Time 0 の pH 6.8 から洗口 5 分後に pH 6.1、10 分後には臨界 pH 5.5 を越え pH 5.45 となり、20 分後に再び 5.9 に回復、30 分後には time 0 とほぼ同じ値になった。臨界 pH を越える変化を示したのはこの例のみであった。同じ部位でブドウ糖を用いた洗口後の pH 変化は臨界値を越えることはなかったが、pH 6.7 (time 0) から 5 分後に pH 5.7 にまで低下した。しかし 10 分後には pH 6.0 に、20 分後には pH 6.3 へと回復、30 分後には time 0 とほぼ同じ値を取り、蔗糖の場合より早い回復を示した。他に、臨界値を越えないが、上、下顎第 2 小臼歯第 1 大臼歯間隣接面、下顎第 1 大臼歯咬合面小窩において、かなりの pH 低下が認められ、上顎第 2 小臼歯第 1 大



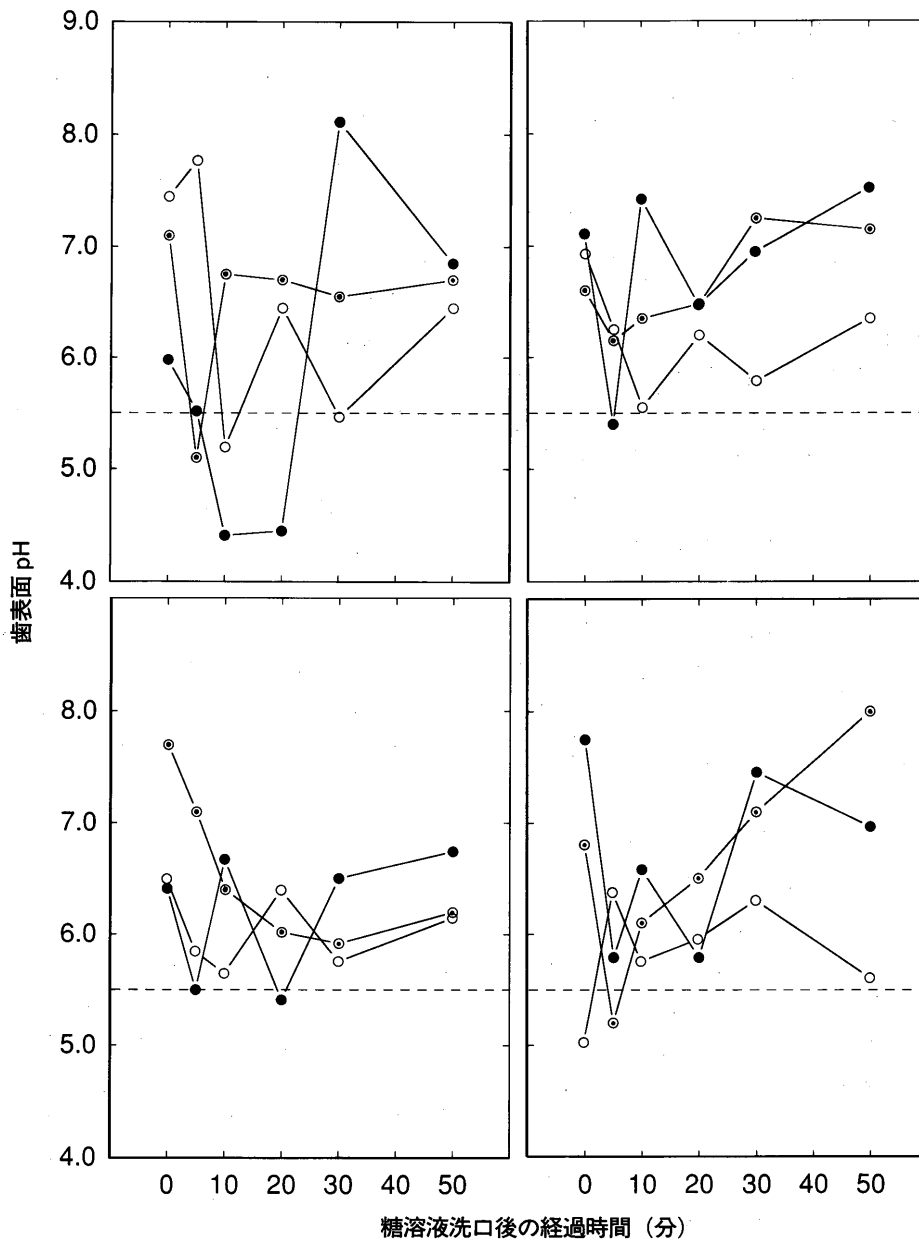


図2. 10%蔗糖水溶液洗口後の白歯部歯表面の経時的 pH 変化
 ○：被験者 A=カリエス・フリー，◐：被験者 B=5 DMFT(0+5；前歯部+白歯部)，●：被験者 C=18 DMFT(6+12；同)
 上段：上顎，下段：下顎 左：第1大臼歯咬合面小窩，右：第2小臼歯第1大臼歯間隣接面

臼歯間隣接面を除きいずれも蔗糖によるものであった。

各測定部位のう蝕感受性の面から今回の実験結果を考察してみると、第1大臼歯咬合面小窩のう蝕感受性は一般に下顎の方が高いとされているが、実験結果では上顎の方がう蝕罹患への可能性がより高いことを示したことになる。この理由は明確にしないが、唾液の自浄作用、緩衝作用を上顎より下顎臼歯部咬合面の方が受けやすかったのではないかと考えられる。う蝕感受性が最も低いとされる下顎前歯部での左右隣接面間における測定では、蔗糖、ブドウ糖を用いた洗口で

も pH の変化はきわめて少なく、予測に一致した結果が得られた。一方、比較的う蝕感受性が高いとされる上顎前歯部隣接面に関する結果は予想に反して、蔗糖、ブドウ糖いずれによっても pH 変化はほとんどなかった。明らかな理由は不明であるが、洗口時間、洗口液量について検討する必要があるだろう。

2. 被験者の局所 pH 低下と DMFT の関連

糖質摂取時の歯面における pH 変化から個体のう蝕感受性を予測する試みの一環として、本研究では、糖質水溶液洗口の際の歯面における pH 変化とう蝕感受性指標として代表させた DMFT との関連について、

う蝕経験の無い被験者 A, 臼歯部にのみう蝕罹患歯 5 歯を持つ被験者 B, 前歯に 6 歯, 臼歯に 12 歯, 合計 DMFT 18 の被験者 C の 3 名の実験結果を個々に検討した。この個別検討に際しては平均値での検討結果に基づいて蔗糖水溶液を用いた実験結果のみを考え, また, 測定部位については実験結果の安定性に多少の問題が見られた中切歯隣接面を除き臼歯部 4 部位の結果を用いた。

図 2 は蔗糖による洗口時の臼歯部の被験者別ステファン曲線である。破線は臨界値 pH 5.5 を示す。高う蝕経験を示す被験者 C の pH 計測値は他の 2 名の被験者の値に比べ, 下顎第 2 小臼歯第 1 大臼歯間隣接面を除く全ての計測部位で臨界値までないしそれを越えて低下した。殊に, 上顎第 1 大臼歯咬合面小窩での変化は time 0 から 5 分後には臨界域まで低下し, 10 分後にはさらに pH 4.4 まで低下, 10 分間ほぼその値を持続した。これは, 歯表面の脱灰が起こるとされる臨界値 5.5 をはるかに越える低い値というだけでなく, 低い値を 10 分間維持し, 脱灰に十分結びつくことのできる変化と考えられる。計測部位のうち一箇所において観察された変化ではあったが, 今後, う蝕経験と pH 変動の関連性を検討する上では興味ある結果となった。

本実験では典型的なステファン曲線は観察されなかった。これは個体差, あるいは, 測定条件などによるものであろう。微小接触型電極の野外応用では常に典型的なステファン曲線を得られるとは限らないという指摘は既になされている⁶⁾。前述の, 歯垢の aging, 唾液流量と緩衝能がステファン曲線を支配する主要因子であり, 計測値のばらつきに影響することは疑い無いが, 今回, ばらつきをさらに大きくする要素は, 従来の実験^{3,4)} に比べ洗口時間が短いことによると思われる。本研究において, その簡便性から, 微小接触型電極の野外 *in vivo* 応用における実用性が示唆された。

結 論

本研究は, 生理的口腔内条件下で糖質を含む食品や飲料を摂取した際に生じる歯表面の pH 変動とう蝕経験の関連を研究するためのパイロット・スタデーとして為された。すなわち, う蝕未経験, および各々 5, 18 DMFT のう蝕経験を持つ被験者 3 名に, 蔗糖, ブドウ糖, 麦芽糖, ソルビトールの 4 種の 10% 水溶液を 10 秒間含嗽させた場合の, 歯表面における pH の経時的変化を微小接触型 pH 電極 Beetrode (NMPH3, NMPH3L) を用いて, 上下顎左右中切歯隣接面間, 第 2 小臼歯第 1 大臼歯間隣接面, 第 1 大臼歯咬合面小窩の

6 部位において計測した。得られた値を平均値, 個体値ステファン曲線として表現し, これらを基に, 糖質種別, 計測部位別に歯表面 pH の経時的変動の差, 個体のう蝕感受性と pH 変化の関連性について検討し, 次のことが明らかになった。

1) 4 種の糖質のうち, 蔗糖が最も大きい pH 低下を示し, ブドウ糖がこれに次いだ。ソルビトールは pH 低下を示さず, 麦芽糖もほぼ同様であった。

2) 測定部位 6 箇所のうち, 上顎第 1 大臼歯咬合面小窩において最も大きい pH 低下が認められた。上下顎左右中切歯隣接面間での大きな pH 低下はどの糖質によっても観察されなかった。

3) う蝕感受性が被験者 3 名中最も高いと考えられる DMFT 18 歯の被験者に観察された蔗糖液含嗽後の上顎第 1 大臼歯咬合面小窩における著しい pH 低下は歯表面 pH 動態がう蝕感受性の指標となりうることを示唆した。

文 献

- 1) Manji F, Fejerskov O, Nagelkerke NJ, Baelum V: A random effects model for some epidemiological features of dental caries. *Community Dent. Oral Epidemiol.*, **19**: 324-328, 1991.
- 2) Stephan RM, Miller BF: A quantitative method for evaluating physical and chemical agents which modify production of acids in bacterial plaques on human teeth. *J. Dent. Res.*, **22**: 45-51, 1943.
- 3) Igarashi K, Lee IK, Schachtele CF: Comparison of *in vivo* human dental plaque pH changes within artificial fissures and at interproximal sites. *Caries Res.*, **23**: 417-422, 1989.
- 4) Millward A, Shaw L, Harrington E, Smith AJ: Continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages. *Caries Res.*, **31**: 44-49, 1997.
- 5) Hall AF, Creanor SL, Strang R, Foye R: Determination of plaque pH changes within the trough of an *in situ* appliance used to study mineral changes in early carious lesions. *Caries Res.*, **31**: 50-54, 1997.
- 6) Scheie AA, Fejerskov O, Lingström P, Birkhed D, Manji F: Use of palladium touch microelectrodes under field conditions for *in vivo* assessment of dental plaque pH in children. *Caries Res.*, **26**: 44-52, 1992.