

特殊微小 pH 電極による砂糖溶液摂取後の 口腔内歯垢下 pH 変化の測定

五十嵐 公 英

緒 言

今日、初期う蝕の発生には、歯垢微生物により産生される有機酸が必要不可欠の要素とされていることから、種々の炭水化物^{1,2)}、代用甘味糖³⁻⁵⁾、清涼飲料⁶⁾、菓子類⁷⁻⁹⁾などの摂取後の歯垢中の酸度、つまり pH の低下の程度より、それらのう蝕誘発性 (cariogenicity) を評価しようという研究がなされている。

歯垢の pH を測定する方法としては、口腔内の歯の表面の歯垢中に微小電極を突き刺して測定する方法¹⁰⁻¹²⁾や、食品等を摂取後の歯垢を微量採取し、pH 電極で測定する方法^{13,14)}、そして、微小 pH 電極を義歯に埋め込み、口腔内で電極上に歯垢を形成させて、pH を測定する方法¹⁵⁻¹⁷⁾などがある。

歯垢中の酸量は、糖が発酵され易いか否かということや、糖が歯垢中に浸透し易い性状かどうか、産生された酸が歯垢から消散していく速度、唾液の流量や緩衝能、歯垢中の酸分解菌の比率などによっても影響されるであろうから、口腔内に自然に蓄積された歯垢で、形態学的構造や細菌学的組成を変化させることなく、しかも歯垢の最深層となるエナメル質表面での pH 変化を測定することこそ最も意義あることと考えられる。無論、天然歯表面の歯垢と細菌学的組成が同じとは保証し得ないが、口腔内に設置した微小電極上に歯垢を蓄積させて pH を測定する方法は、大変意にかなった方法といえよう。

歯垢中の pH 測定用電極としては、これまで、アンチ

モン電極¹⁸⁾と微小ガラス電極¹⁹⁾が使われてきた。しかし、アンチモン電極は細菌の増殖を抑制する作用のあることが明らかにされており²⁰⁾、その上に歯垢を形成させての pH 測定結果は信憑性に欠ける²¹⁻²⁴⁾。一方、ガラス pH 電極は、小さくなればなる程破損し易くなり、また電極膜抵抗が大きくなるため応答速度が遅くなり、静電気の影響を受け易くなり、生体での使用は非常に困難である。

近年の電子工学技術の進歩は、従来のガラス電極やアンチモン電極とは異なる、新しい型のイオン感受性電極の開発を可能にした¹⁵⁾。

本研究は、この新しく開発されたイオン感受性電極を、これまで困難とされてきた口腔内での歯垢下 pH の測定に応用するため、電極の pH 応答性、応答速度、そして口腔内細菌の増殖に対する影響を調べるとともに、この電極を用いて「歯垢下 pH 測定装置」を製作し、sucrose 摂取後の pH 変化を測定することを目的とした。

I 水素イオン感受性電界効果トランジスタ電極に関する基礎実験

実験方法

1. 微小 pH 電極と測定回路 (図 1, 2)

実験に使用した微小 pH 電極は、長径 6 mm, 幅径 1 mm, 厚径 0.2 mm の「水素イオン感受性電界効果トランジスタ電極」(以下、これをトランジスタ電極と呼称する)で、東北大学工学部の江刺・松尾 (1975)²⁶⁾によって開発された。イオン感受性部は、図 1 にみられる細い 2 本のリード線が半田付けされていない側の先端 1 mm²の部分で、電極の材質は一般のトランジスタに使われているシリコン片で作られている。

東北大学歯学部小児歯科学講座
仙台市星陵町4-1
(主任: 神山紀久男教授)
東北大学歯学部口腔衛生化学講座
(指導: 山田 正教授)
(1980年5月31日受付)

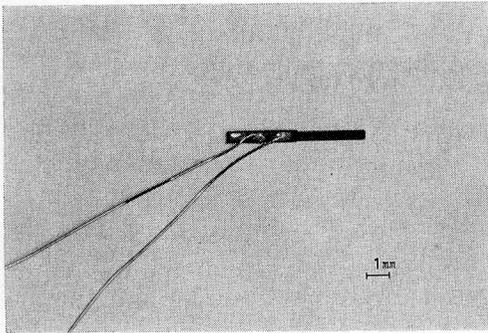


図1 トランジスタ pH 電極
右端 1 mm² が水素イオンに感応する

このトランジスタ電極に、図2に示した測定回路をもつ増幅器、ならびにレコーダを接続し pH を測定した。また、比較電極には銀-塩化銀電極（東亜電波社製：HS-205C）を使用した。

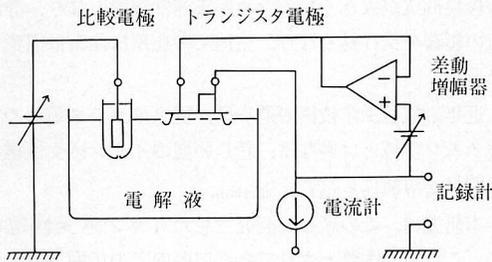


図2 トランジスタ電極による pH 測定回路

2. pH 応答性と速度

比較するために使用したガラス電極は、東亜電波社製：GS-195C で、同社製 HM5A pH メータに接続し使用に供した。また、実験に用いた緩衝液は、0.1 M クエン酸—0.1 M クエン酸ソーダ、0.1 M クエン酸—0.2 M 第2 燐酸ソーダ、0.2 M 第1 燐酸ソーダ—0.2 M 第2 燐酸ソーダ、0.2 M 第1 燐酸カリ—0.2 N カセイソーダ溶液の計4種である。

一方、溶液の pH を急速に変えた時の応答速度の測定には、0.1 M クエン酸—0.2 M 第2 燐酸ソーダの緩衝液を使用した。温度は、いずれの実験も36°Cと定めた。

3. 細菌培養液の pH 測定と細菌の増殖に対する影響
Streptococcus mutans FIL²⁷), Strep. salivarius ATCC 13419, ならびに Strep. sanguis NCTC 10904²⁸) を各々 20 ml の Brain Heart Infusion 培地 (Difco, Detroit, U. S. A., B. H. I. と略す) に好氣的に37°Cで16時間培養後

に、培地を 3000 r. p. m. で20分間遠心し、菌体を集め、これを再度 3 ml の B. H. I. 培養液に懸濁した。次に、Glucose 0.1 mg 含有の B. H. I. 培養液 7 ml に菌の懸濁液 3 ml を添加し、その後の pH 変化をガラス電極（東亜電波社製：GS-195C）とトランジスタ電極で同時測定し、記録計にて記録した。培養液は、3時間の測定中に常時攪拌し、かつ37°Cに保持した。

細菌の増殖に対する影響を調べるため、トランジスタ電極とアンチモン（半井化学）の小塊1個ずつ上述の Strep. mutans, Strep. sanguis, Strep. salivarius の何れかを接種した B. H. I. 寒天平板にのせ、好気条件下、36°Cで24時間培養した。そして、それらの周囲のコロニーの有無より菌の増殖に対する影響を評価した。

実験成績

1. pH 感受性と応答速度 (図3)

図3は、トランジスタ電極とガラス電極による pH カリブレーションの結果である。pH 3.8 から 7.3 までの間で、測定したすべての緩衝液で直線性が得られた。また、ガラス電極の pH 値に対するトランジスタ電極の読み違い誤差は、最大 0.2 pH だった。

一方、溶液の pH を7.0から3.0に変えた時のトランジスタ電極の応答速度は、ガラス電極とほぼ同じで、5秒内に最終 pH に達した。

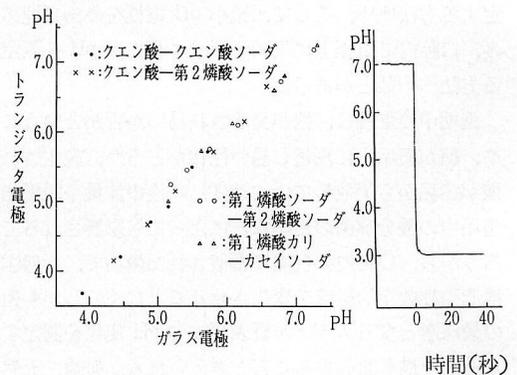


図3 pH カリブレーションと pH 変化に対する応答速度

2. 細菌培養液の pH 測定と増殖に対する影響 (表1, 図4)

表1に各細菌培養液の pH 変化値を示した。Strep. mutans では、培養開始時の pH 値が7.27とトランジスタ電極、ガラス電極共に等しく、3時間後は夫々4.87と4.85で 0.02 pH の差が生じた。また、その間の pH 値の最大誤差は 0.07 pH と非常に小さかった。一方、他

表1 トランジスタ電極とガラス電極で測定した細菌培養液の pH

	pH 電極	培 養 時 間 (分)						
		0	30	60	90	120	150	180
Strept. mutans	トランジスタ	7.27	6.55	5.95	5.45	5.17	5.00	4.87
	ガラス	7.27	6.48	5.88	5.39	5.13	4.96	4.85
Strept. sanguis	トランジスタ	7.17	6.64	6.14	5.70	5.42	5.30	5.21
	ガラス	7.17	6.58	6.10	5.70	5.48	5.35	5.23
Strept. salivarius	トランジスタ	7.04	6.55	6.15	5.57	5.17	4.97	4.87
	ガラス	7.06	6.60	6.12	5.58	5.22	5.02	4.94

の2種類の細菌でも同様な結果が得られ、最大誤差0.07を越えることはなかった(表1)。

図6は Strep. mutans を接種した寒天平板上のアンチモンとトランジスタ電極の写真である。アンチモンの場合(左側)、その周囲に細菌のコロニー形成は全くみられず透明であるが、トランジスタ電極の場合右側、イオン感受性の尖端部を含むすべての場所で、その周囲に無数のコロニー形成がみられた。

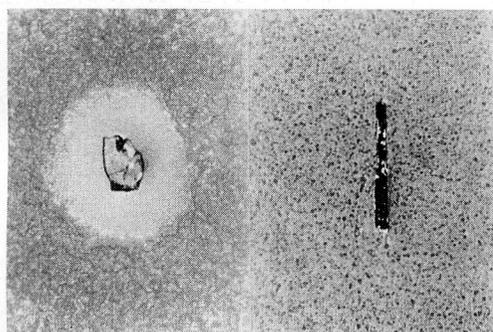


図4 細菌の増殖への影響

左: アンチモン

右: トランジスタ電極で上部がイオン感受性部

II 歯垢下 pH 測定装置応用による口腔内実験

実験方法

1. 装置の製作

被検者は2名で、1名は下顎左側の第2小臼歯と第1大臼歯欠損(32歳)、また他は同じく下顎左側第1、第2小臼歯と第1大臼歯の欠損を有している成人(28歳)である。まず、欠損側のアルジネート印象を採得し、普

通石膏による作業模型作製後、部分床義歯の製作に準じて床の外形線、クラスプの位置を設計した。但し、トランジスタ電極を隣接面部に設置する時支障を来さないよう、クラスプの脚は鉤歯の隅角部に設け、すべて鋳造鉤を作製した。咬合面部には人工歯排列をせず、即時重合レジン(而至社製:オルソレジン)の筆積み法で床をつくったが、床の内部は可及的に広い空洞とし、頬側に縦5mm、横1cm程の窓を開けた。

トランジスタ電極については、イオン感受性部の下面に2mm²の人の永久歯エナメル質小片を貼りつけ、リード線の根元をRTV系シリコン接着剤(東芝シリコンTSE385RTV)で絶縁し、隣接面あるいは咬合面部の所定の位置に固定した。細いリード線にビニール被覆コードを半田付けし、床装置を口腔に装着した時、口角部より口腔外に2~3cm出るぐらいの長さにした。床装置の研磨後、被検者の口腔内に試適し、咬合を十分点検したうえで、ビニールコードを折り曲げ、床内の空洞部に押し込み、入口をガッタパーチャプレートで2重に封をした。

今回の実験で使用したpH測定装置を、口腔内に装着した時の状態を図5に示した。咬合面部に電極が認められる。床の頬側から出ているビニールコードは、床内部でトランジスタ電極と接続されていて、pHの測定以外の時は床内に収納された。

隣接面歯垢下pH測定装置の場合も、電極設置場所が異なる他は、全く同じ方法で製作した。

2. pHの連続測定

口腔内歯垢下pH測定装置を装着中、被検者の食生活には何等制限を設けず、昼夜を問わず常時装着させ、口腔清掃ならびに装置の清掃については、電極部を除いて十分に清掃するよう指示した。実験は装置装着直後ならびに数日間装着させた後行い、実験当日、被検者には朝

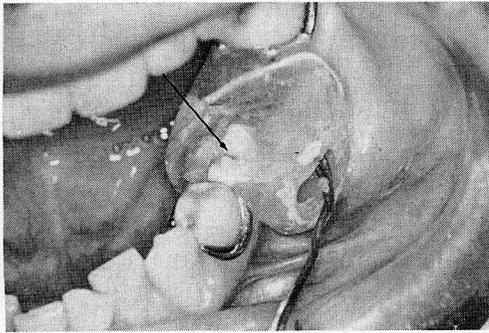


図5 5 6 欠損部に装着した咬合面歯垢下 pH 測定装置
矢印は、咬合面に設置されたトランジスタ電極を示す

の飲食を禁止させ、口腔清掃後実験を開始した。まず、装置の頬側部のガッタパーチャの覆いを除き、中のビニールコードを引き出し、pH 測定用増幅器、記録計（松下電器製：VP6541A）に接続し、電位の安定を待って実験を開始した。比較電極は、銀—塩化銀皮膚電極（ベックマン社製、No. 650931）を左側前腕の内側に固定した。

実験は、

イ) 装置装着直後で、pH 測定装置の咬合面電極に歯垢の形成がみられない状態での、その部位の pH 変化の測定。

ロ) 咬合面に電極をもつ装置を 4 日間装着した同一患者で、電極部に 1.0% sucrose の 50 μ l を 50 分間の間隔をおいて 2 回滴下を繰り返した時の pH 変化。

ハ) 同じく 3 日間装着し、0.1, 0.5, 1.0, 5.0% 濃度の sucrose 10 ml で 2 分間洗口した時の pH 変化。

ニ) 4 5 6 欠損部の遠心隣接面部に電極を設置した装置を 2 日間装着し、炭酸飲料（コーラ）と 10% sucrose の各 10 ml で 1 分間洗口した時の pH 変化の測定を行った。

pH の校正は、0.1 M クエン酸—0.2 M 第 2 磷酸ソーダ緩衝液（pH 4.0 と 7.0）を被検液と同じ条件で口腔内の電極部に滴下するか、あるいは洗口した時の電位変化を求めて行った。

実験成績

1. 装置装着直後の pH 変化（図 6）

未だ歯垢の形成されていない、装置装着直後の電極で、口腔内局所の pH 変化を 3 時間に亘り測定した結果の一部を図 7 に示した。測定中の pH 値は、pH 6.8 を上下し、最高 7.0 から最低 6.7 までの変化を示し、緩ら

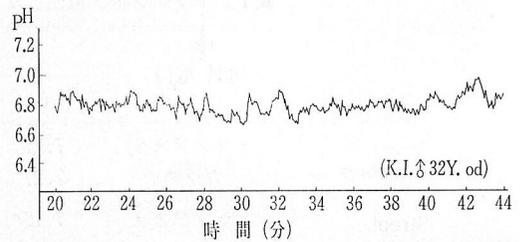


図6 咬合面歯垢下 pH 測定装置装着直後の pH 変化

な直線にはならず、激しい起伏がみられた。またこの間、会話は勿論、手足の上下運動、身体の移動、嚥下なども行われたが、すべてこの pH 値範囲内での変化であった。

2. 2 回繰返した時の pH 変化（図 7）

これは 4 日間装置を装着させ、その後、咬合面の電極部に 1.0% sucrose 50 μ l を滴下、2 分後に脱イオン水で 1 分間洗口した時の pH 変化をみたもので、同一操作を 50 分後に再度繰返した時の再現性を図 7 に示した。1 回目は、実験開始時の pH 7.0 が、滴下 2 分後 4.7、水での洗口中に更に 4.4 まで低下し、12 分後には元の pH 値 7.0 まで回復した。2 回目は、実験開始時の pH 7.2 が滴下 2 分後に pH 4.5 まで低下、その後の水による洗口で更に 4.0 まで降下した。また、実験開始時の pH 値まで戻ったのは 22 分後だった。

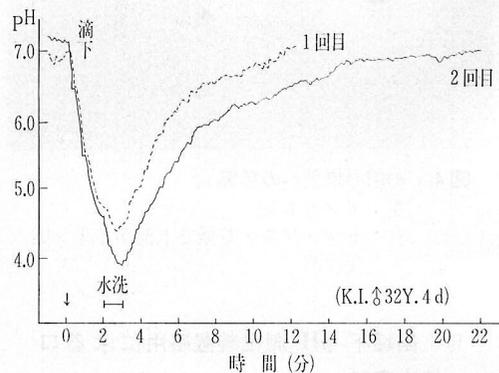


図7 咬合面歯垢下 pH 測定装置を 4 日間装着し、同じ操作を 2 回繰返した時の pH 変化

3. sucrose 濃度を変えた時の pH 変化（図 8）

電極を咬合面に設置した「咬合面歯垢下 pH 測定装置」を 3 日間装着し、0.1, 0.5, 1.0, 5.0% と濃度を変えた sucrose 10 ml で 2 分間洗口した時の pH 変化を

図8に示した。実験開始時の pH は 6.7, 6.8 それに 7.2 であったが、洗口開始直後より pH は低下しはじめ、2分間の洗口中に最低 pH は、各々 5.2, 4.8, 4.9, 5.1 に達した。溶液を吐き出した直後から pH は上昇しはじめ、pH 6.0 以上に到達するまでに要した時間は 4, 5, 9, 23分で、濃度が高くなる程回復に長時間を要した。

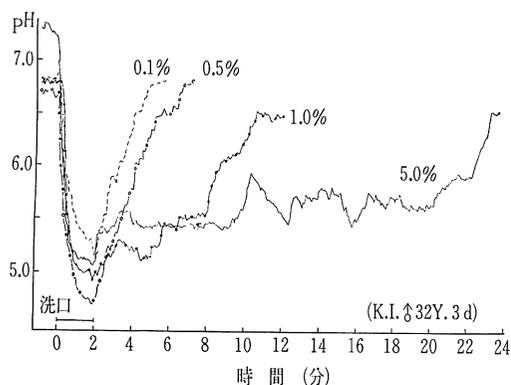


図8 咬合面歯垢下 pH 測定装置を3日間装着し、濃度を変えて洗口した時の pH 変化

4. 炭酸飲料コーラによる pH 変化 (図9)

遠心隣接面部に電極を設置した「隣接面歯垢下 pH 測定装置」を2日間装着し、市販の炭酸飲料コーラと10% sucrose 各 10 ml で1分間洗口した時の pH 変化を図9に示した。コーラの場合、洗口開始時 pH 7.0 が洗口中に徐々に低下しはじめ、洗口中に pH 5.6, 8分後に最低 pH 4.0 に達した。一方、sucrose 溶液の場合、洗口開始時 pH 6.9 が洗口開始してすぐに低下し、洗口中に pH 6.0 に達した。しかしその後 pH の上昇、降下がみられ、8分後にコーラと同じく最低 pH 5.2 に達した。そのあと、急速に pH は上昇し、9分後 pH

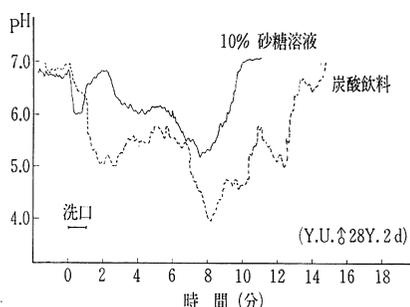


図9 隣接面歯垢下 pH 測定装置を2日間装着し、炭酸飲料による洗口後の pH 変化

6.0 に、そして10分後には、実験開始時 pH まで回復した。

考 察

今日、生化学の分野のみならず、あらゆる領域でみられる pH の測定にはガラス電極が使われており、日本工業規格の「pH 測定方法」²⁹⁾によれば、標準緩衝液の pH を測定した時、その値の再現性が±0.02以内のものを精密測定用、±0.05以内のものを普通測定用、そして±0.1以内のものを簡易測定用と定めている。

確かに、ガラス電極による pH 測定は、正確で信頼性が高いが、ガラス膜部分が常温で数 10~100メガホーム (MΩ) もの高い内部抵抗値を有しているため、測定時には接続を厳密にし、高入力抵抗をもつ pH メータを使用しなければならない。この電極の内部抵抗は、電極が小さくなればなる程大きくなるし、そのことは、メータの指示値が、溶液の実際の pH 値に達するまでの応答時間を長びかせることを意味し、微小 pH ガラス電極の生体への応用を非常に困難にさせている。

本研究で応用したトランジスタ電極は、その大きさにおいては現在市販されている、いかなる pH ガラス電極よりも小さいばかりでなく、溶液の pH を変えた時の応答速度も、pH 7.0 から 3.0 への変化に対して、僅か 5 秒以内という迅速さであった。

種々の緩衝液について測定した pH 値を、ガラス電極の pH 値に対比させた場合、最大誤差 0.2 pH、細菌培養液の連続測定の場合には最大 0.07 pH と小さく、その上、細菌の増殖に対する抑制効果もみられなかった。

また、トランジスタ電極は原理上の特徴として、電極膜抵抗が問題とならない程小さいため、電極と増幅器との接続がきわめて容易で、クリップではさむだけでよいという扱い易さもある。これらのことは、口腔内局所の歯垢下 pH 測定にとり、トランジスタ電極が極めて実用価値の高いことを証明するものである。

微小ガラス電極を用い歯垢の pH 測定を行っている Brunner ら (1974)³⁰⁾の装置は、電極の大きさの点で、どうしても多数歯の欠損空隙を必要とする。だから、被検者として48歳あるいは66歳と比較的高年齢者を対象者とせざるを得なかったのであろう。トランジスタ電極を使った場合、今回の実験のように、臼歯2歯あるいは3歯の抜去空隙があれば歯垢下 pH 測定装置の製作は十分可能である。また、第1大臼歯1歯欠損部位への装置の適用も試みたが、それも可能であることがわかった。本実験の被検者の年齢が32歳と28歳であることから明らか

かなように、Brunner らの被検者よりはるかに若い。即ち、技術的な面からみれば、もっと多人数で、しかも最もう蝕の多発する小児をも被検者の対象とすることが可能であることを示唆しているし、このことは、小児歯科臨床でのう蝕予防指導にとって、有益なる情報を提供するであろう。

微小ガラス電極を両側性遊離端義歯型 pH 測定装置の近心隣接面に置き、2日間装着させ、10% sucrose 溶液 20 ml で2分間洗口した時の pH 変化を測定した Clark ら (1971)³¹⁾によれば、洗口中 pH 変化はあまりみられず、吐き出したあとに徐々に pH が下降し、17分後に最低 pH 4.3 に達し、22分後も pH 5.2 であったと報告している。一方、炭酸飲料コーラの歯垢 pH に及ぼす影響については、同じような装置を3日間装着した後、15 ml で2分間洗口した時の変化が Imfeld (1977)³²⁾によって報告されているが、それによると、コーラ自身のもつ低 pH により、洗口直後に pH は急激に下がるが、洗口終了直後今度はすぐ pH 6.5 まで上昇し、そうして再 pH の低下が起こり、洗口開始後24分で最低の pH 5.0 に達している。

下顎左側小臼歯と第1大臼歯欠損部の遠心隣接面部に、トランジスタ電極を設置した「隣接面歯垢下 pH 測定装置」を2日間装着し、10% sucrose と炭酸飲料(コーラ)各 10 ml で1分間洗口した著者の実験結果では、sucrose の場合、7分後に最低 pH 5.1 に、コーラでは8分後に 4.0 の最低 pH に達した。歯垢の日数、被験飲料の濃度、洗口時間等の実験条件が仮に同じであったとしても、被検者の年齢、食生活、欠損歯数の多小、口腔内のう蝕罹患状況、唾液流量などの違いによっても、歯垢の細菌学的、組織学的構造は大きく異なってくるであろうから、歯垢の pH 変化が他の研究の結果と一致しないことは当然あり得ることである。むしろ重要なことは、その時の pH が、エナメル質の脱灰がおこる、いわゆる“Critical pH” (Graf¹³⁾)によれば pH 5.7) 以下になるかどうかということであろう。著者が行った実験結果においても、2つの被験飲料が共に、歯垢下 pH を 5.7 以下にまで低下させる能力を有していることが証明され、以前の結果と一致するという結論に達した。

う蝕の好発部位として、隣接面の他に咬合面の小窩裂溝があげられる。咬合面部にガラス電極を置き pH を測定することは、破損の危険性が大きいため、これまでは実験を行うことが無理であった。トランジスタ電極は板状構造であるため、咬合面部のエナメル小片に深さ 1.0 mm の溝をつくり、その下底にトランジスタ電極を

設置した「咬合面歯垢下 pH 測定装置」をつくることが出来た。これは、ガラス電極にはない、トランジスタ電極のもつ、もう一つの優れた特長ということが出来るであろう。この装置による pH 測定結果について述べてみたい。

装置装着直後の、歯垢付着のない電極による pH 変化についてみると、3時間の測定中に最高7.0から最低6.7までの pH 変化がみられた。この場合は、局所での唾液の pH を測定していることになるが、Graf ら (1966)¹⁵⁾によれば、唾液 pH 6.5 が、中和錠剤を噛むことにより pH 7.0 にまで上昇したという。それ故、著者らの場合、測定装置そのものが刺激材となり、唾液の分泌を促し、pH の上昇を招いたものと考えられる。また、小さな変化については、電極の測定法に由来する「雑音」が影響しているものとも思われるが、歯垢による被験試料の発酵性から「う蝕誘発性」を評価するという目的からみれば、これは支障をきたすほどの変化ではない。

同じ濃度の sucrose 溶液で2回繰返した時の pH 変化についてみると、滴下2分後の pH 値は、1回目4.7、2回目4.5と非常に近い pH 値を示した。その後の水による洗口で pH は更に低下し、1回目4.4、2回目3.9まで低下し、その後徐々に上昇していった。水による洗口時の pH 降下の原因については、sucrose 滴下より洗口までの間の歯垢内での酸産生量が、歯垢底部よりも、その表面で、より多いため、水により酸が歯垢の内部に急速に浸透していったためではないかと考えられる。ただ、その時の酸の浸透量は必ずしも同じとはいえないので、その後の pH の回復に違いが生じたものであろう。sucrose 濃度を変えて洗口した時の pH 変化についてみると、何れの濃度の場合でも2分間の洗口中に pH 値は最低に達しており、この糖がいかに発酵され易いかということを物語っている。Imfeld (1977)³²⁾は、隣接面の4日目歯垢による実験で、10%より高濃度の sucrose 溶液でも、それ以上の pH 低下はなかったと報告している。これは、歯垢内細菌が糖から酸から酸を産生する時、糖以外の制限因子があり、これが不足するために酸産生が抑制されたためと思われる。今回の実験では最低 pH は約5.0前後に集中していたが、洗口後の pH の回復は、濃度が濃くなるほど長時間を要する傾向がみられた。歯垢中の残留濃度が、被験液の濃度に比例するためではないだろうか。

今日、代用糖や清涼飲料、それにお菓子などがう蝕を起し易いか否かを評価するには、歯垢中の細菌や歯垢そのものによる酸生成実験³⁴⁻³⁶⁾、実験動物によるう蝕の

モデル実験³⁷⁻⁴¹⁾、疫学的調査⁴²⁾や臨床の実験データ⁴³⁻⁴⁴⁾から総合的に判断せざるを得ない。う蝕発生が、歯垢内細菌により歯垢中に産生された酸によるエナメル質の脱灰によるものであるという病因に立脚する時、それらの中の1つの簡便な評価法として、本実験の「口腔内歯垢下 pH の測定」は、重要な役割を担うものと思われる。

結 論

口腔内局所の歯垢下 pH の変化を測定するため、新たに開発された水素イオン感受性電界効果トランジスタ電極を口腔内に応用するための基礎的実験、ならびに、それを内蔵した装置による口腔内応用実験を次い、次のような結論を得た。

- 1) 水素イオン感受性電極をガラス電極と比較した際の最大誤差は 0.2 pH で、緩衝液の pH 変化に対しては10秒内に応答した。
- 2) 本電極の細菌の増殖に対する抑制効果はみられず、また、ガラス電極と比較した時の細菌培養液の最大誤差は 0.1 pH 以下だった。
- 3) 「隣接面歯垢下 pH 測定装置」だけでなく、咬合面歯垢下 pH 測定装置の製作も可能であった。
- 4) 歯垢付着のない電極の場合、局所の唾液 pH 値は、6.7から7.0まで変動した。
- 5) 1.0% sucrose 溶液による繰返しでは、最低 pH 値が1回目4.7、2回目4.5と近い値を示した。
- 6) sucrose 濃度をかえた時の最低 pH は、0.1%以上の濃度で pH 5.0 前後であった。また、濃度によって回復の時間に差がみられた。
- 7) 炭酸飲料コーラは、10% sucrose と同じく、歯の脱灰をおこす pH (pH 5.7) 以下に、歯垢 pH を低下させた。

稿を終るにあたり、ご指導を賜りました小児歯科学講座神山紀久男教授、口腔生化学講座山田正教授、トランジスタ電極の分与、指導をいただいた東北大学工学部松尾教授、江刺助手に感謝の意を表します。また、小児歯科学講座教室員、口腔生化学講座教室員それに被検者として協力いただいた各位にお礼申し上げます。

本論文の要旨は、第16回秋季日本小児歯科学会大会において発表した。

本研究は、一部、昭和54年度文部省科学研究・奨励研究の補助をうけた。

文 献

- 1) Ludwig, T. G. et al.: Acid production from different carbohydrate foods in plaque and saliva, *J. Dent. Res.*, 36: 56-60, 1957.
- 2) Neff, D.: Acid production from different carbohydrate sources in human plaque in situ, *Caries Res.*, 1: 78-87, 1967.
- 3) Frostell, G.: Effects of mouthrinses with sucrose, glucose, fructose, lactose, sorbitol and lycasin on the pH of dental plaque, *Odont. Revy.*, 24: 217-226, 1973.
- 4) Mühlemann, H. R. et al.: The effect of sorbose on the pH of mixed saliva and interproximal plaque, *Helv odont. Acta.*, 19: 76-80, 1975.
- 5) Mühlemann, H. R. et al.: Some dental effects of xylitol under laboratory and in vivo conditions, *Caries Res.*, 11: 263-276, 1977.
- 6) Frostell, G.: Effects of milk, fruit juices and sweetened beverages on the pH of dental plaque, *Acta Odont. Scand.*, 28: 609-622, 1970.
- 7) Geddes, D. A. M. et al.: Apples, salted peanuts and plaque pH, *Brit Dent. J.*, 142: 317-319, 1977.
- 8) Edgar, W. M. et al.: Acid production in plaque after eating snacks. Modifying factors in foods, *J. A. D. A.*, 90: 418-425, 1975.
- 9) Rugg-gunn, A. J. et al.: The effect of different meal patterns upon plaque pH in human subjects, *Brit Dent. J.*, 139: 351-356, 1975.
- 10) Stephan, R. M.: Changes in hydrogen-ion concentration on tooth surface and in carious lesions, *J. A. D. A.*, 27: 718-723, 1940.
- 11) Stephan, R. M.: Intra-oral hydrogen-ion concentrations associated with dental caries activity, *J. Dent. Res.*, 23: 257-266, 1944.
- 12) Kleinberg, I. et al.: The pH of dental plaque in the different areas of the mouth before and after meals and their relationship to the pH and rate of flow of resting saliva, *Archs. oral Biol.*, 19: 493-516, 1964.
- 13) Frostell, G.: A method for evaluation of acid potentialities of foods, *Acta Odont. Scand.*, 28: 599-608, 1970.
- 14) Frostell, G.: The effect of chewing on the pH of dental plaques after carbohydrate consumption, *Acta Odont. Scand.*, 32: 79-82, 1974.
- 15) Graf, H. et al.: Telemetry of plaque pH from interdental area, *Helv Odont. Acta.*, 10: 94-101, 1966.
- 16) Mühlemann, H. R.: Intra-oral radio telemetry, *Int. Dent J.*, 21: 456-465, 1971.

- 17) Clarke, N.G. et al. : Capacity of buffers to inhibit acid production within dental plaque, *J. Dent. Res.*, 55 : 868-874, 1976.
- 18) Hassel, Th. M. et al. : Effects of sodium N-lauroyl sarcosinate on plaque pH in vivo, *Helv Odont. Acta.*, 15 : 52-53, 1971.
- 19) McHugh, W. D. : *Dental Plaque*, Livingston, Edinburgh, 1970, p. 179.
- 20) Macfadyne, E. E. et al. : The effect of antimony on bacterial cultures in vitro and in vivo, *J. Dent. Res.*, 55 : 126, 1976.
- 21) Hassel, Th. M. : Construction of micro-antimony electrodes for use in radio telemetry of plaque pH, *Helv Odont. Acta.*, 15 : 50-51, 1971.
- 22) Hassel, Th. M. : The effect of acetohydroxamic acid on interdental pH assessed with radio telemetry, *Helv Odont. Acta.*, 16 : 27-31, 1972.
- 23) Silvera, R. S. et al. : Interdental plaque pH and sweet root chewing, *Helv Odont. Acta.*, 17 : 96-98, 1973.
- 24) Shields, W. F. et al. : The effect of glycerophosphate on dental plaque pH, *Helv Odont. Acta.*, 18 : 88-91, 1974.
- 25) Esashi, M. et al. : Integrated micro multi ion sensor using field effect of semiconductor, I. E. E. E. *Trans. on B. M. E.*, 25 : 184-192, 1978.
- 26) Esashi, M. et al. : Biomedical cation sensor using field-effect of semiconductor, *Supplement to the Japan Soc. of applied Physics.*, 44 : 339-343, 1975.
- 27) Yamada, T. et al. : A fructose 1,6-diphosphate-independent L-lactate dehydrogenase in a strain of streptococcus mutans, *Archs. oral Biol.*, 21 : 233-236, 1976.
- 28) Carlsson, J. : A numerical taxonomic study of human oral streptococci, *Odont. Revy.*, 19 : 137-160, 1968.
- 29) 益子 安 : pH の理論と測定, 東京化学同人, 東京, 1975, p. 111.
- 30) Brunner, K. et al. : Multi-channel oral wire telemetry, *Helv. Odont. Acta.*, 18 : 83-87, 1974.
- 31) Clark, N. G. et al. : Plaque pH and calcium sucrose phosphate : A telemetric study, *Aust. Dent. J.*, 16 : 13-16, 1971.
- 32) Imfeld, Th. M. : Evaluation of the cariogenicity of confectionary by intra-oral wire-telemetry, *Helv. Odont. Acta.*, 21 : 1-28, 1977.
- 33) Graf, H. : The glycolytic activity of plaque and its relation to hard tissues pathology-Recent findings from intraoral pH telemetry research, *Int. Dent. J.*, 20 : 426-435, 1970.
- 34) Yamada, T. et al. : Metabolism of glucosylsucrose and maltosylsucrose by streptococcus mutans, *Caries Res.*, "in press".
- 35) Hays, M. L. et al. : The breakdown of glucose, xylitol and other sugar alcohols by human dental plaque bacteria, *Archs. oral Biol.*, 23 : 445-451, 1978.
- 36) Skinner, A. et al. : Influence of sugar type on the pattern of acid production by streptococcus mutans, *J. Dent. Res.*, 51 : 1022-1024, 1972.
- 37) Birkhed, D. : Caries in rats fed highly or slightly hydrolysed Lycasin, *Caries Res.*, 12 : 250-255, 1978.
- 38) Krasse, B. : The effect of caries-inducing streptococci in hamsters fed diets with sucrose or glucose, *Archs. oral Biol.*, 10 : 223-226, 1965.
- 39) 務台方彦ほか : 乳酸菌飲料とう蝕要因との関連性に関する実験的研究, *口腔衛生会誌*, 25 : 90-100, 1975.
- 40) 柴田治雄ほか : 乳酸菌飲料による実験齲蝕の重症化, *口腔衛生会誌*, 27 : 16-26, 1977.
- 41) 大嶋 隆 : 実験動物におけるう蝕誘発系を用いたう蝕の病因論に関する研究, *小児歯誌*, 16 : 161-169, 1978.
- 42) Gustafsson, B. E. et al. : The vipeholm dental caries study, *Acta. Odont. Scand.*, 11 : 232-364, 1953.
- 43) Geddes, D. A. M. et al. : The effect of frequent sucrose mouth rinsing on the induction in vivo of caries-like changes in human central enamel, *Archs. oral Biol.*, 23 : 663-665, 1978.
- 44) Von Der Fehr, F. R. et al. : Experimental caries in man, *Caries Res.*, 4 : 131-148, 1970.