

# 唾液と口腔内pH ——緩衝能の正しい理解

渡部 茂 Shigeru WATABE, DDS, PhD.

明海大学教授

明海大学歯学部口腔小児科学分野  
埼玉県坂戸市けやき台 1-1  
Meikai University Dental  
1-1, Keyakidai, Sakato-shi, Saitama  
350-0283, Japan

## Saliva and pH in the mouth—proper understanding of buffering capacity

The homeostatic mechanism of oral environment is a compound of clearance mechanism, site-specificity, and salivary buffering. In this paper the result of the experiment on these functions is introduced. My conclusions are as follows;

1. The oral environment constantly changes depending on the saliva secretion rate, pH fluctuation, plaque growth, dietary and brushing practice;
2. pH of saliva under resting conditions and buffer of stimulating saliva govern the oral environment in terms of balance between acidity and alkalinity;
3. Saliva tests, if conducted several times over a certain period of time, should be able to provide sufficient amount of information to evaluate daily cycle of patient's overall oral conditions, but oral conditions cannot be properly evaluated after tested only once or twice; and
4. Oral conditions vary from site to site, so the assessment of demineralization and remineralization must be site-specific.

*J Health Care Dent. 2010; 12: 25-31.*

キーワード: saliva  
Dawes model  
plaque pH  
QLF method

## はじめに

削る、詰める、抜いて入れ歯、これが今までの歯科医療の根幹をなしていました。削り方の上手な歯科医が、いい歯科医で、ピタッと吸い付く入れ歯ができるのが、名医だといわれてきました。しかし、これを一生懸命やっても、どうしても歯を失っていくほうに進んでしまいます。う蝕・歯周病を予防して、咬合育成をして、咬合の管理・維持をして、一生自分の歯で噛めるようにもっていく、野球にたとえると先発のエースが9回まで0点で抑える。私たちが志向するのは、そのような方法です。従来はいわば敗戦処理型の歯科医療でした。これを完全に転換していかなければならないと思っています。

さて本日は、口腔環境の恒常性を維持するメカニズムについてお話しします。そのなかでもとくに唾液分泌と嚥下による希釈、口腔環境の部位特異性、唾液緩衝能などについて解説します。

## 口腔環境の恒常性を維持するメカニズム

- ①唾液分泌と嚥下による希釈  
(唾液クリアランスのメカニズム)
- ②口腔環境の部位特異性
- ③唾液緩衝能

唾液分泌量が少ないと口腔が乾燥してしまっ、いろいろな問題が起こります。ただ高齢者だからといって唾液の分泌が減少するということはありません。高齢者は血圧を下げる薬などいろいろな薬を服用するので、その影響で全体としてみると唾液の分泌が少なくなっているに過ぎません<sup>1)</sup>。唾液分泌速度については、この研究会の皆さんは、ご理解があると思います。人間は何も飲食をしていないときでも嚥下をしています。成人の正常者では1分間に0.3ml ぐらいの唾液が出ています。これを自然に嚥下していますが、唾液が口腔内の汚れを吸収しながら嚥下されていくメカニズムについて、まずお話しします。

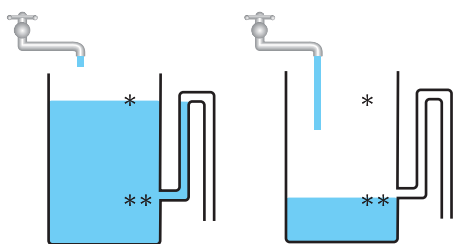


図1 生理的嚥下と口腔内唾液量

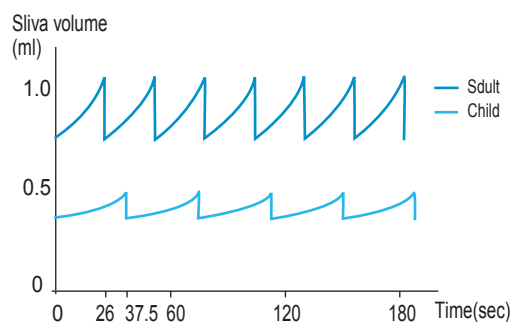


図2 口腔内の唾液量

## 1. 唾液クリアランスのメカニズム

図1はサイフォンの原理を図示したものです。サイフォンというのは、研究室などにもあるのですが、試験管や汚れたものをこの中に入れて、水を出しっぱなしにしておく。すると、水が<\*>印のラインに達したときに、ザーッと一気に<\*\*\*>の出口の高さまで排出されます。実際のサイフォンは出口が底に付いており、すべての水が排出されます。いったん<\*\*\*>の高さまで水がなくなると再び水が溜まり始め、<\*>印のところまで来たらまた水が一気に排出される。このサイフォンのような水の交換の仕組みが、われわれの口の中であって、口の中をきれいに維持しています。

ヒトの場合、すべての唾液を飲み込むことはできないので、図のサイフォンでは出口が底より上部に付いています。飲み込む頻度は、人によって違います。なかなか嚥下しない人と、比較的早い人がいます。人の口の中は、図2のように嚥下と分泌がくり返されています。口の中が汚れているとき、唾液が出て溜まり、ゴクンと一部の唾液を飲み込み、これを延々と何回も繰り返すことにより希釈していくわけです。したがって、希釈の効率がいい人は口腔環境がいいと言えます。

これはDawes教授が考えた理論<sup>2)</sup>です。私は、1985年からこの教授の下で唾液に関する研究をしてきました。図2は、大人と子どもの口腔内唾液量を表しています<sup>3)</sup>。口の中の

唾液の量を測定して、首に血圧計のカフを巻いてテレビを見させる。テレビに夢中になって、無意識に嚥下をする。その嚥下の回数を計測しています。この被験者の場合は26秒に1回嚥下をしていて、ゴクンと飲み込むと0.7mlぐらいになります。飲み込む寸前の口腔内の唾液量は1.1mlぐらいです。このリズムに沿って、口の中の唾液量に変化しています。これは安静時で、睡眠時はほとんど唾液が出ません。唾液分泌が少なく、嚥下回数が少なくなると、この希釈効率は悪くなります。一般に男性に比較して女性の方が、効率が悪いという結果が出ています。

## 2. 口腔環境の部位特異性

多くの人は、抜き打ちで染め出しをしますと、下の歯に比べ上の歯が汚れています。また、唇面と舌面を比べると、唇面のほうが汚れやすく、う蝕も、舌面よりは、唇面に多い。このようなことから、同じ口の中でも場所によって環境が違うということが想像できるわけです。唾液は、唾液腺から出てきたばかりのときにはきれいです。ほぼ無菌です。嚥下寸前には、ひどく汚れています。嚥下しないで唾液を試験管に吐き出して遠心分離すると、約半分ぐらいヘドロです。それが口の中にあった汚れです。

図3の模式図のように歯の表面にプラークがあり、その上を唾液が薄い膜となって流れています。この唾液フィルムには、口腔粘膜が乾くのを防止し、表面を保護し、歯と口腔

表1 唾液フィルムの機能

1. 口腔乾燥を避けるために、歯と口腔粘膜を被う。
2. 摩耗を減らすために、口腔粘膜が乾くのを防止する。
3. 口が動いているときに歯と口を口腔粘膜を潤す。
4. プラークから酸をクリアランスする。

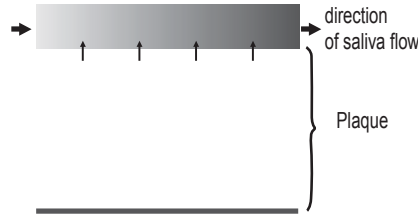


図3 唾液フィルムとプラーク



図4a 口腔内の部位による唾液の動きの違いを調べる。

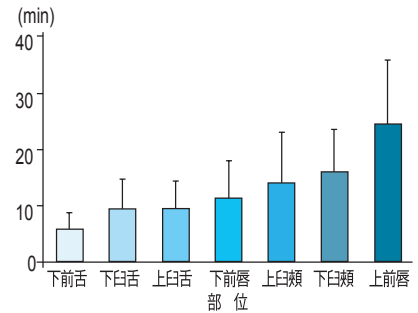


図4b 安静時における half-time.

粘膜を潤し、プラークが産生する酸を中和します。唾液フィルムには、このような機能があります。

部位特異性を知るために、次のような実験をしました。中央にくぼみを作った薄いプラスチック板を作製し、そのくぼみに寒天を流し、その寒天の中にカリウムを入れ、これを口の中の至る所に縛り付けておきます。そして、一定時間が経過した後、その寒天を取り出して、カリウムがどれくらい減っているかを測定し、表面に流れた唾液の量を推定するというものです(図4a)。

寒天中に入れた塩化カリウムの濃度が2分の1になる時間を求めました。結果は、下顎の前歯の舌側が一番短く、最も遅かったのは上顎の前歯の唇面でした。両者には約4倍の差が認められました。部位特異的に唾液の流れる量が違うということが明らかになりました<sup>4, 5)</sup>。

30年程前、飯塚(哲夫)先生が沖縄での長年のフッ素の研究で、フッ素は上の前歯に効くという報告を出されています。当時はわかっていませんでしたが、上の前歯は、クリアラ

ンスが悪いので、フッ素を塗布するといつまでも残っていたことによるものと思います。砂糖を食べたら、いつまでも残っているから注意しろということになります。フッ素を塗布した場合には、同様に長く残っているから効果があるということになります。上の前歯は、寝る前に歯を磨いて、フッ素で洗口すれば、朝までフッ素が効くということになります。

次に、pHセンサーを上顎前歯(UAB)と上顎臼歯(UPB)にセットした後で、ジュースで口をゆすぎました(図5)。すると、UPBはストーンとほぼジュースのpHに下がりました。耳下腺唾液から爆発的に唾液が出るので、すぐに元に戻りました。ところが、上顎の前歯はなかなか元に戻りませんでした(図6)<sup>6, 7)</sup>。

これは口を動かさずに、じっとしていた場合ですが、実際には、しゃべったり、舌を使ったりするので、部位の違いは薄まりますが、たとえば睡眠中などはこの程度の差が出ると考えられます。

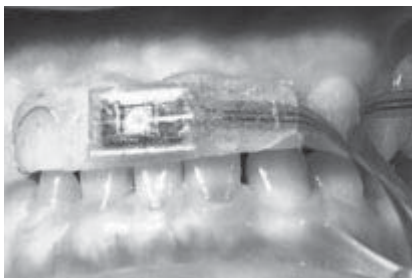


図5 義歯にpHセンサーを貼り付けて口腔内に装着する。

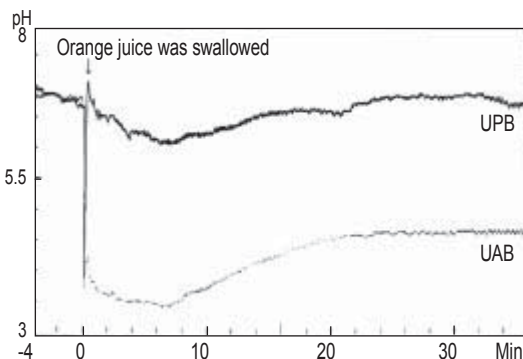


図6 pHの変化の典型的な一例

表2 日常,我々が摂取している清涼飲料は非常に低pHに偏っているものが多い。

| Ex           |     |
|--------------|-----|
| コーラ          | 2.2 |
| 栄養ドリンク       | 2.9 |
| 黒酢           | 3.1 |
| スポーツドリンク     | 3.3 |
| 100%オレンジジュース | 3.4 |

エナメル質の脱灰臨界pHは5.4。  
酸蝕症の原因の一つとなる。

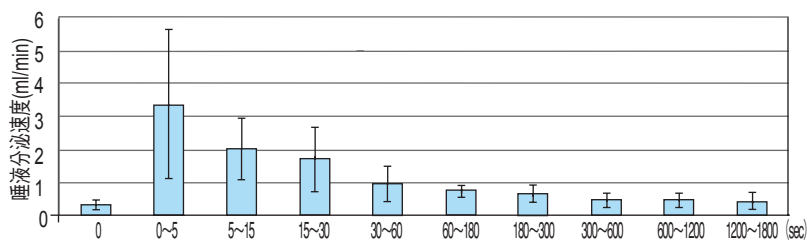


図7 100%オレンジジュース嚥下後の全唾液分泌速度の各区間における変化  
実験前被験者の唾液分泌速度は平均0.34ml/min, またオレンジジュース嚥下後の最大分泌速度は嚥下後から5秒区間の3.38ml/minで約10倍の増加が見られ, いったん上昇した唾液分泌速度はpH同様に約10分程度で安静時とほぼ同程度になった。

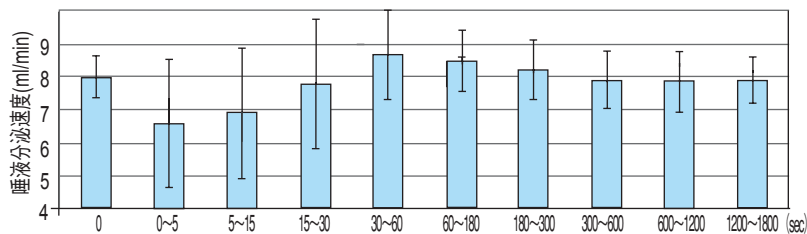


図8 100%オレンジジュース嚥下後の各区間における全唾液pHの変化。実験前の被験者の安静時唾液pH平均は7.26でオレンジジュース嚥下後, 平均1.49低下した。10名中4名は, pHが歯牙脱灰臨界pH5.4を下回ったが, 30~60秒にはそれを上回る回復が4名全員に認められた。10分程度でほぼ安静時と同程度まで回復した。

### 3. 唾液緩衝能

緩衝能という唾液の働きを皆さんはよく理解されていると思います。これは唾液中の主に重炭酸塩によるもので, pHを一定に維持しようとする働きのことをいいます。唾液中重炭酸塩濃度は唾液分泌速度に影響され, 安静時唾液ではほとんど測定できないほど微量ですが, 刺激唾液では最大60mmol/Lほどに達します。したがってう蝕の発生に関係する安静時の口腔内では, 唾液緩衝能はまったく期待できません。

アメリカでは飲み物, 食べ物には

間接税がつきませんが, オレンジジュースだけには間接税がかかります。これは税金をかけると飲む人が減るということを意図した政策的な課税です。ご存じのように, アメリカでは肥満が大きな社会問題になっている, 大人も子どもオレンジジュースを毎日のように飲んでます。オレンジジュースのpHというのは3.4ぐらいで, 非常に酸性が強い。このようなものを飲んでいて歯は大丈夫なのだろうか心配になります(表2)。考えただけでも歯によくはないのではありませんかと思いますが, 結論からいうと, 唾液が頑張ってくれているので,

一般的にはそう問題にはなりません。

図7は100%オレンジジュースで口をゆすいで, 飲み込んだ後に出てくる唾液の分泌速度を計測したものです。最初にゴクンした後の5秒間でコップに唾液を出して, その後, 5秒ごとに唾液を出していきます。すると, 飲んだ直後は安静時の10倍以上の唾液が出ます。酸が入ってきたので, これは大変だと反応して唾液が出るわけです。

pHを測定すると, ジュースを飲む前はpH7.0を少し超えたところですが, ジュースを飲んだ直後にはpH6ぐらいまで下がります(図8)。10人

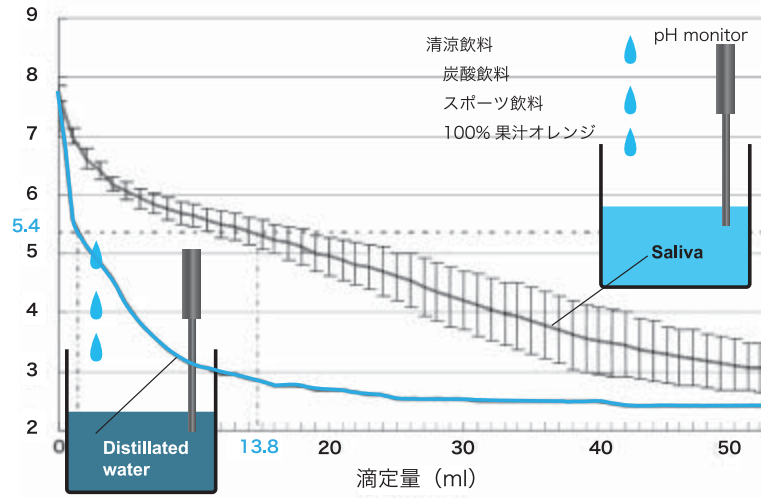


図9 唾液に対する炭酸飲料(pH2.2)の滴定実験

黒の実線が被験者から採取した刺激唾液に対する滴定曲線、青ラインが蒸留水に対する滴定曲線。脱灰臨界pH5.4に達したときの滴定量は13.8ml。

の被験者で3人ぐらいはpH5.4以下に下がる人がいます。その人は刺激唾液が少ないと考えていいと思います。しかし、そのような人でも徐々にpHは回復して、pH5.4に下がった人も1分以内には元に戻るという実験結果が出ています。酸っぱいものを口に入れてもエナメル質の臨界pHよりも下には下がっていないと思われま

す。このようになりにpHの低い飲料でも唾液の影響によって、歯の脱灰は阻止されていることが示されました。しかし、唾液到達の少ない部位とか、口腔乾燥症の人とか、極端な飲用習慣がある人、睡眠前に飲用するなどの場合には歯の脱灰が進むことが考えられます。

図9は、唾液に対する清涼飲料の滴定実験です。10mlの刺激唾液(ガムベース咀嚼)に対し、炭酸飲料(pH2.2)による滴定実験の結果を示します。コントロールにはpHを調整した蒸留水(NaOH添加)を用い、唾液pHがエナメル質脱灰臨界pH(pH5.4)までの滴定必要量の比較を行いました<sup>8)</sup>。

唾液中にオレンジジュースを入れていくと、蒸留水の場合はすぐにpHが下がっていきます。0.2mlぐらい入れたらストンとpH5.4以下に下がります。しかし、唾液の場合には、なかなか下がらない。13.8ml入れない

とpH5.4以下には下がらない。これが唾液のもつ緩衝能の作用です。

### 1) 脱灰

本当にジュースなどの酸性飲料はエナメル質を溶かすのでしょうか。酸性飲料の中に歯を漬けて脱灰の程度をQLF法(Quantitative light induced fluorescence:光誘導蛍光定量法)で評価しました。15mlのオレンジジュースに1分、3分、4.5分、5分、6分、12分、24時間まで入れて、どれぐらいで脱灰されるかをみました。2時間半ぐらいすると測定できる範囲の脱灰が出てきます。おそらく、これ以前に脱灰は始まっているものと思われるのですが、QLFでの測定のこれが限界と思われる。次にそのジュースに刺激唾液を30分の1混合したもの、15分の1混合したもの、10分の1混合、5分の1混合したものを用意して、その中に歯を入れたらどうなるかという実験をやってみました<sup>9)</sup>。

その結果、唾液を5分の1混合した場合と蒸留水を入れた場合では、唾液の方が有意に脱灰を阻止することがわかりました(図11)。また、唾液混合比が増加するに伴い脱灰量が減少する傾向もみられました。このことはジュース飲用後唾液分泌の多い方が脱灰は少ないということを示しています。



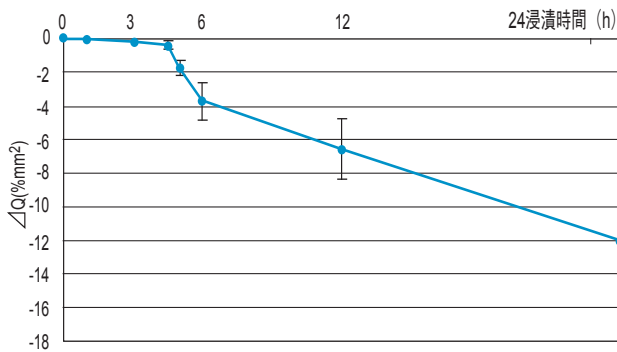


図10 QLF法\*を用いた牛歯エナメル質表面の清涼飲料による脱灰の定量的観察

(\*Quantitative light induced fluorescence: 光誘導蛍光定量法) 15mlのオレンジジュースに1, 3, 4.5, 5, 6, 12, 24時間浸漬し, 人工的脱灰部分を形成した。比較対照には, 採取した刺激時唾液のpHに調整した蒸留水を使用した。QLFにて観察し, 測定した。

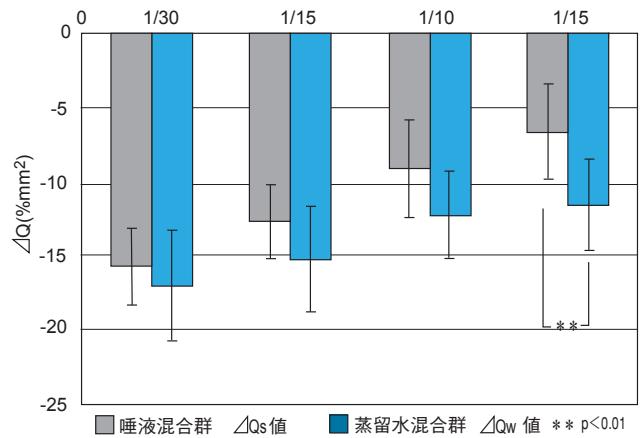


図11 QLF法を用いた唾液混合時の牛歯エナメル脱灰抑制の定量的観察

各混合比ともに蒸留水混合群と比較して唾液混合群に脱灰の減少傾向が見られた。特に1/5においては, 両者間に有意な差が見られた。

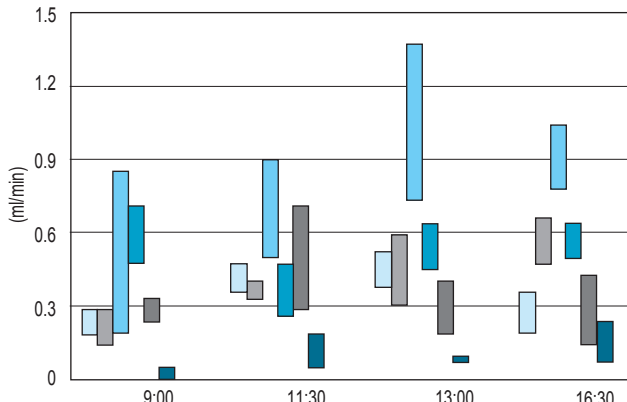


図12a 安静時唾液の唾液分泌速度の個人差と計測日によるバラツキ

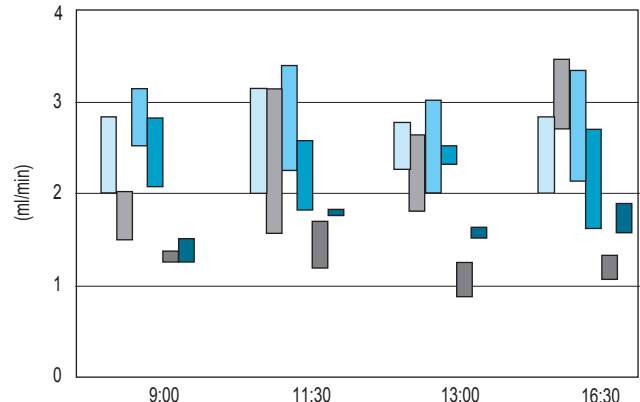


図12b 刺激唾液の唾液分泌速度の個人差と計測日によるバラツキ

## 2) 唾液の脱灰抑制能

唾液の脱灰抑制能は, 混合唾液による緩衝能の効果, 歯面における皮膚の形成, 唾液中ミネラル成分の歯面への供給というものが複合されていると考えられます。たとえば安静時唾液が0.1ml以下の口腔乾燥症患者では, 清涼飲料の影響が強く現われます。通常は唾液の緩衝能で脱灰は抑制, 修復されますが, 頻度が過ぎると酸蝕(エロージョン)が起きます。エロージョンと初期脱灰は違います。エロージョンの場合は酸でエナメル質表面が溶け, 再石灰化は起こりにくいといわれています。初期脱灰の場合には, エナメル質表層は脱灰しません。酸は表層を通して中に入り,

表層下のフッ素濃度が比較的低いエナメル層を壊します。そこには酸は入るけれども細菌は入らないので感染ではありません。そして, 表層下脱灰は唾液やフッ素で再石灰化という現象が起こります。

唾液緩衝能については大体ご理解いただけたと思います。日常の診療で唾液緩衝能テストというものがあります。図12は, 学生を対象に1日4回安静時唾液(a), 刺激唾液分泌速度(b)を測定した結果です。

同一被験者でもかなり変動が大きいです。安静時唾液量というのは条件によって変化が大きいと言えます。緩衝能の測定は, 診断的にあまり価値がないと考えてい

いでしょう。尿や血液の検査結果で, 「あなたは糖尿病だ」などと言えるが, 唾液を調べて「この結果だから, あなたはこうだ」ということは言えません。ただ, 来る度に何回も量っていつもと違うということを言うことは可能でしょう。

刺激唾液の場合(図12b)は若干バラツキの幅は狭くなります。緩衝能試験の場合は, 刺激唾液を使います。この場合にも, 採取時間ごとに値が違ってくことを理解して, 幅をみて考えなければいけません。

唾液中の細菌検査についても研究を紹介しておきましょう。赤ちゃんへのミュータンス菌の伝播などが研究されています。一般に待合室など

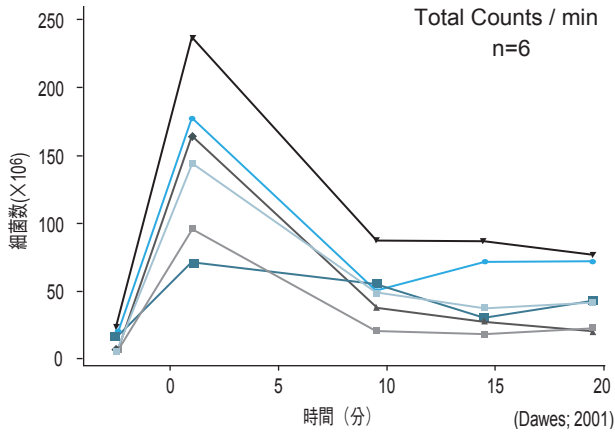


図13 ガム咀嚼時の唾液中細菌数

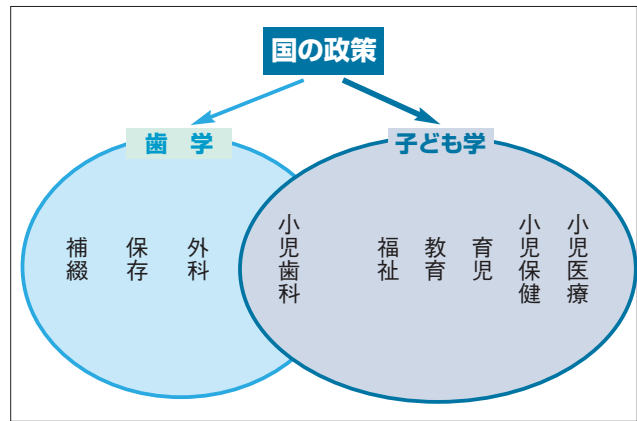


図14 小児歯科の位置づけ

でガムなどを噛んでいて、「〇〇君、どうぞ」と言って診療室に入れて、診療室に入って測定した場合は、ガムによって非常に影響されるという結果が出ています(図13)<sup>10)</sup>。よって、平常の状態で測定することが必要だと思います。特に唾液テストは数日にわたって数回測定した上で患者の口腔全体の日常のサイクルを評価するもので、1~2回の測定で結果が得られるようなものではありません。

おわりに

1. 口腔環境は唾液分泌速度の変化、それに伴うpHの変化、プラークの増殖、飲食、ブラッシングの有無

等で常に大きく変化している。  
 2. 安静時唾液のpHと刺激唾液の緩衝能は口腔の酸・アルカリ環境を左右する。  
 3. 唾液テストは数日にわたって数回測定した上で患者の口腔全体の日常のサイクルを評価するものであり、1~2回の測定で結果が得られるような診断方法ではない。  
 4. 口腔内は部位によって環境が異なっている。したがって脱灰と再石灰化の評価は、各部位によって異なる。

歯科の現状は、あまり予防をしない状態で歯の治療をしています。これは水道を出しっぱなしで、溢れた

水を雑巾で拭いているようなものです。蛇口をひねって水を止めてから溢れた水を拭き取る作業をすべきです。

歯はからだの一部です。私は小児歯科にいますが、歯科学の中には補綴や外科、小児歯科などいろいろな診療科があります。一方、子ども学というものがあり、今年(2010年)の10月に子ども学会を私たちが主催しますが、小児医療、小児保健、育児、教育、福祉、子どもにかかわるすべての人が集まる学会です。その中に小児歯科も入ったほうがいいのではないかと考え、今、これらにかかわるいろいろな分野の先生たちと連携をとっています(図14)。

参考文献

- 1) Edgar M, Dawes C, D'OMullane, 渡部 茂 監訳: 唾液-歯と口腔の健康-, Saliva and Oral Health, 第3版. 医歯薬出版, 東京, 2008, p.45
- 2) Dawes C: A mathematical model of salivary clearance of sugar from the oral cavity. Caries Res, 17: 321-334, 1983.
- 3) Watanabe S and Dawes C: Salivary flow rate and salivary film thickness in five-year-old children. J Dent Res, 69: 1150-1153, 1990.
- 4) Watanabe S: Salivary clearance from different regions of the mouth in children. Caries Res, 26: 423-427, 1992.
- 5) Dawes C, Watanabe S, Biglow-Lecomte P, Dibdin GH: Estimation of the velocity of the salivary film at some different locations in the mouth. J Dent Res, 68: 1479-1482, 1989.
- 6) Suzuki A, Watanabe S, Ono Y, H. Ohashi C, Pai, X. Xing, and X. Wang.: Influence of the location of the parotid duct orifice on oral clearance. Arch Oral Biol, 54(3): 274-278, 2009.
- 7) Watanabe S, Ogihara T, Takahashi S, Watanabe K, Xuan K and Suzuki S: Salivary clearance and pH in the different regions. 88th General Session & Exhibition of the IADR, Barcelona, Spain, July, 2010
- 8) Takahashi S, Ogihara T, Kuroshita R, Kurihara, T. Nakamura H, Watanabe H and Watanabe : Effects of Soft Drink on Salivary pH in the mouth. J Meikai Dent Med, 39: 81-84, 2010
- 9) Takahashi S, Ogihara T, Watanabe K, Suzuki A and Watanabe S: Suppressive effects of saliva against enamel demineralization by acid beverages. 88th General Session & Exhibition of the IADR, Barcelona, Spain, July, 2010.
- 10) Dawes C, Tsang RW, and Suelzle T: The effects of gum chewing, four oral hygiene procedures, and two saliva collection techniques, on the output of bacteria into human whole saliva. Arch Oral Biol, 46: 625-632, 2001.