

〈研究報告〉

各種清涼飲料水の酸蝕能の比較 －ブタ抜去歯牙を用いた検討－

Comparison of the acid erosion ability of various soft drinks.
Examination using swine extracted teeth.

村上鈴佳 長谷川誠 岩瀬悠起 中島沙依香 柴野荘一

東京医療保健学部 医療保健学部 医療情報学科

Suzuka MURAKAMI, Makoto HASEGAWA, Yuki IWASE, Saeka NAKAJIMA, Soichi SHIBANO

Division of Healthcare Informatics Faculty of Healthcare

要 旨：目的：ブタ抜去歯を用いて、酸性の清涼飲料水が歯を溶かしうるのかと、酸性の清涼飲料水摂取直後の歯磨きがどの程度歯を減らしうるかということを実験的に明らかにする。

方法：各種条件にて3種類の清涼飲料水に浸漬したブタ抜去歯について、「エナメル質（各修復歯においては、歯と各修復物の境界部も含む）の表面の性状」、「各清涼飲料水に浸漬前と6週間浸漬後の重量」、「エナメル質表面のモース硬度」を観測した。また、通法に従い電動歯ブラシと歯磨剤を用いてエナメル質表面を磨いた歯のエナメル質表面の性状を観察した。

結果：酸性の清涼飲料水は歯を溶かしうるということが確認された。酸性の清涼飲料水を摂取した直後の歯磨きの影響についても、歯を僅かずつ削ることになりうるということが確認された。

結論：酸性の飲料等について、その種類、摂取頻度、摂取量、摂取後の対応等を考える際の一助となり、歯科口腔保健の向上にも寄与しうると考える。

キーワード：清涼飲料水、酸蝕症、ブタ抜去歯牙、エナメル質

Keywords：Soft drink, Tooth erosion, Swine extracted teeth, Enamel

I. はじめに

戦後の復興時代を経て、1955年頃の経済成長期を皮切りに、ライフスタイルの欧米化が進行してきた¹⁾。それに伴い、清涼飲料水の摂取量も増加の傾向を示すようになった。清涼飲料水生産量の推移によると、1955年では清涼飲料水の生産量は約50万klであったが、1980年には約550万klに、2004年には1700万klに及び²⁾、常に右肩上がりに上昇を続けている。このことから摂取量の増加も見えて取ることができる。清涼飲料水は酸性であるものも多く、例えばコーラなどの炭酸飲料、果汁飲料などがそれにあたる。そしてそのような酸性の清涼飲料水の摂取が高頻度・多量になると、歯の酸蝕（なお、酸蝕とは、歯科医学的には“酸による化学的溶解”と定義される³⁾）が生じうる。

また、これまでは飲食後の歯磨きが推奨されていたが、近年では飲食後すぐの歯磨き、とりわけ酸性の飲食物摂取後すぐの歯磨きは、繰り返すと歯をすり減らしてしまうというのが一般的になりつつある。酸性の飲食物によって生じたエナメル質表層の脱灰の再石灰化には30分ほどの時間を要するため、食後すぐの歯面は脱灰し軟化した状態である⁴⁾⁵⁾。酸性の飲食物摂取後すぐの歯磨きは、そのような状態の歯面に歯ブラシによる機械的な力をかけてしまうことになり、酸蝕症を促進しうることが指摘されている⁴⁾⁵⁾。

そこで本研究では、ブタ抜歯を用いて、①酸性の清涼飲料水が歯を溶かしうるのか、②酸性の清涼飲料水摂取直後の歯磨きが、どの程度歯を減らしうるかということの検討を目的とした。これまでの研究でも、実験的に探針を用いて歯面を撫でて評価しているものや、肉眼や顕微鏡を用いた観察による評価が多くある一方で、歯ブラシを用いて、実生活のなかで歯を磨く条件に近い状態で実験を行っているものはほとんどない。そのため、本実験においては、歯ブラシ、なかでも現在広く普及してきている電動歯ブラシを用いた。なお、われわれヒトが実際に清涼飲料水を摂取する際の口腔内環境（歯牙の状況）は、各種修復処置が施されていることも多々あると考えられるため、実際の歯科臨床でしばしば行われる成形修復（光重合型コンポジットレジン修復）と鑄造歯冠修復（歯科用金属によるインレー修復）の2条件の修復処置を、ブタの歯牙に対し通法通り施し⁶⁾⁷⁾⁸⁾、①の検討の際に用いた。

II. 材料と方法

実験1

エナメル質表面に明らかなう蝕等の病変やその他表

面性状の変化のないことを歯科医師が肉眼銀合金インレー修復歯5本）を用いた。なお、ブタの歯牙はPorcine Teeth（フナコシ社製）、光重合型コンポジットレジン充填はEsFlow（SPIDENT社製）とユーボンド（ユーデント社製）を採用した。用意した上記ブタの歯牙のうち無処置歯1本をペットボトル入り飲料用水（い・ろ・は・す[®]、コカ・コーラ社製）に、2本を果汁100%オレンジジュース（Tropicana[®]、キリンビバレッジ社製）、2本をコーラ（コカ・コーラ[®]、コカ・コーラ社製）に歯面全体に各清涼飲料水が触れるように溶液中に吊るす形で浸漬した。光重合型コンポジットレジン充填歯や歯科用銀合金インレー修復歯についても、それぞれ無処置歯と同様の要領で、1本を飲料水に、2本をオレンジジュースに、2本をコーラに浸漬した。なお、各清涼飲料水は、1で確認したブタの歯牙（無処置歯5本・光重合型コンポジットレジン充填歯5本・歯科用週間ごとに新しいものに入れ替えを行いながら、6週間浸漬を行った。

観察項目はエナメル質（各修復歯においては、歯と各修復物の境界部も含む）の表面の性状（ALFAMIRAGE社製デジタル顕微鏡にて25倍に拡大した状態）・各清涼飲料水に浸漬前と6週間浸漬後の重量・エナメル質表面のモース硬度とした。

実験2

エナメル質表面に明らかなう蝕等の病変やその他表面性状の変化のないことを歯科医師が肉眼で確認したブタの歯牙（無処置歯5本）を用い、このうち1本を飲料用水に、2本をオレンジジュースに、2本をコーラに（なお、各清涼飲料水はいずれも前述と同様のものを使用）浸漬後1週間ごとに取り出し、一般的に広く使用されていると考えられる歯磨剤（デンターシステムG[®]、ライオン社製）と電動歯ブラシ（BRAUN Oral-B[®]、Procter & Gamble社製）を用いて、歯科医師の指導のもと通法に従い通常のブラッシング圧で観察対象のエナメル質表面を磨いた。6週間後に6回磨かれた観察対象のエナメル質を前述のデジタル顕微鏡にて25倍に拡大し、観察した。

III. 結果

実験1

無処置歯をそれぞれの清涼飲料水に浸漬した後のエナメル質表面の性状について、各清涼飲料水に6週間の浸漬を終えた無処置歯の表面をデジタル顕微鏡にて25倍に拡大した画像を示す（写真1）。飲料用水に浸漬した歯では表面が粗くなっていないのに対し、オレ

ンジューズとコーラに浸漬した歯では表面に細かい凹凸が多く、粗くなっている。さらにオレンジジュースとコーラに浸漬した歯を比較すると、コーラに浸漬したもののほうが表面の粗さが強くなっている。

光重合型コンポジットレジン修復歯をそれぞれの清涼飲料水に浸漬した後のエナメル質表面の性状について、各清涼飲料水に6週間の浸漬を終えた光重合型コンポジットレジン修復歯の表面をデジタル顕微鏡にて25倍に拡大した画像を示す(写真2)。写真2の丸で囲んだ部分に注目すると、飲料用水に浸漬していたものは歯面と充填物との間にギャップがみられない。一方、オレンジジュースに浸漬していたものおよびコーラに浸漬していたものは歯面と充填物との間にギャップがみられる。

歯科用金属によるインレー修復歯をそれぞれの清涼飲料水に浸漬した後のエナメル質表面の性状について、各清涼飲料水に6週間の浸漬を終えた歯科用金属によるインレー修復歯の表面をデジタル顕微鏡にて25

倍に拡大した画像を示す(写真3)。写真3の丸で囲んだ部分に注目すると、飲料用水に浸漬していたものはインレー面とセメント層および歯面の境界が移行的で滑らかである。一方、オレンジジュースに浸漬していたものおよびコーラに浸漬していたものは、いずれも歯面は粗くなりセメント層は波打っていることが観察される。なお、セメント層に関しては、オレンジジュースよりもコーラに浸漬したもののほうがその波打ちの度合いは顕著である。

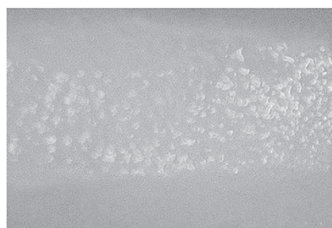
各種清涼飲料水への浸漬前後における無処置歯の重量の変化について、無処置歯を各種清涼飲料水に6週間浸漬した際の、各歯の重量やその変化を示す(表1)。飲料用水に浸漬したものについてはほとんど重量の変化がみられないのに対し、オレンジジュースとコーラに浸漬したものについてはいずれも浸漬後の重量の減少がみられた。

各種清涼飲料水に浸漬後のエナメル質表面の硬度について、無処置歯を各種清涼飲料水に6週間浸漬した

飲料用水



オレンジジュース



コーラ

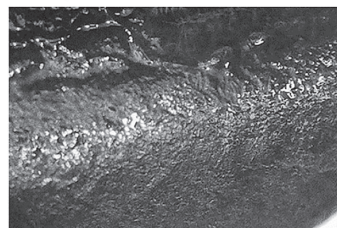
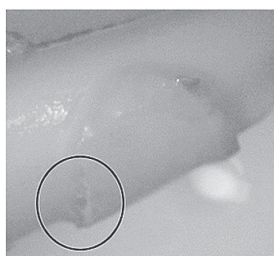


写真1 各清涼飲料水に6週間の浸漬を終えた無処置のエナメル質表面(×25)

飲料用水



オレンジジュース



コーラ

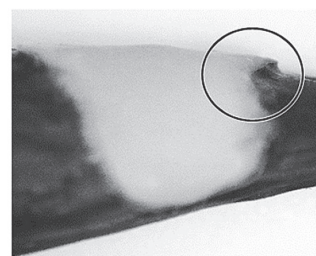
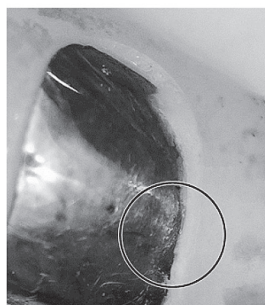
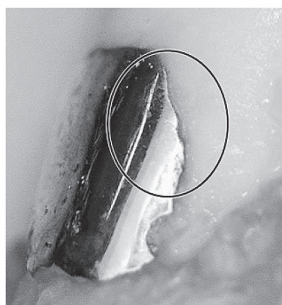


写真2 各種清涼飲料水に6週間の浸漬を終えた光重合型コンポジットレジン充填歯のエナメル質表面(×25)

飲料用水



オレンジジュース



コーラ

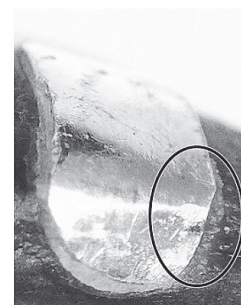


写真3 各清涼飲料水に6週間の浸漬を終えた歯科用金属によるインレー修復歯のエナメル質表面(×25)

表1 各清涼飲料水に6週間浸漬した無処置歯の重量変化

	浸漬前重量 (g)	浸漬後重量 (g)	重量減少量 (g)	重量減少率 (%)
ミネラルウォーター	0.81	0.79	0.02	2.47
オレンジジュース①	0.98	0.73	0.25	25.5
オレンジジュース②	0.86	0.59	0.27	31.4
コカ・コーラ①	1.41	1.24	0.17	12.1
コカ・コーラ②	1.41	1.24	0.17	12.1

後のモース硬度を示す(表2)。飲料用水に浸漬した歯のエナメル質表面のモース硬度は7であり、これは天然歯のエナメル質のモース硬度と同等の値であった。一方、コーラに浸漬した歯のエナメル質表面のモース硬度の平均値は1となり、非常に低値を示した。なお、オレンジジュースに浸漬した歯は、外圧を加えるとしなる程に歯が軟らかくなっていたため(写真4)、鉋物などを引っ掻くことで硬度を求める機器であるモース硬度計では硬度を計測することができなかったため「計測不能」とした。

表2 無処置歯を各清涼飲料水に6週間浸漬した後のモース硬度

項目	モース硬度
ミネラルウォーター浸漬	7
コーラ浸漬(①と②の平均値)	1
オレンジジュース浸漬	計測不能

実験2

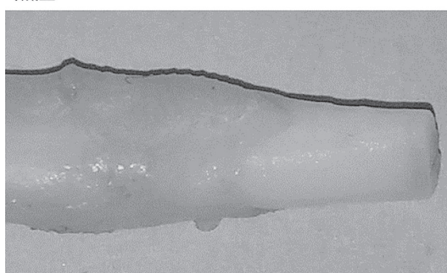
各種清涼飲料水に6週間浸漬し、その間に電動歯ブラシと歯磨剤を用いて6回磨かれた歯の表面のエナメル質を、デジタル顕微鏡で25倍に拡大した画像を示す(写真5)。飲料用水に浸漬したものに比べ、オレンジジュースやコーラに浸漬したもののほうが表面にやや凹凸が多く、粗くなっている様子がうかがえる。

IV. 考察

実験1

各種清涼飲料水に6週間浸漬した無処置歯の表面をデジタル顕微鏡にて25倍に拡大したもの(写真1)について、飲料用水に浸漬した歯の表面は粗くなっていない理由としては、飲料用水はほぼ中性の溶液で、歯面を溶かさなため、浸漬前の歯と同じような状態で保たれているためであると考えられる。一方、オレンジジュースとコーラに浸漬した歯の表面は微細な凹凸

無圧



外圧を加えた後

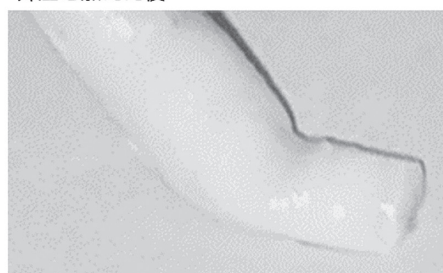


写真4 外圧を加えるとしなる程に軟化したオレンジジュース浸漬歯

飲料用水



オレンジジュース



コーラ



写真5 各清涼飲料水に6週間浸漬し、その間に電動歯ブラシと歯磨剤を用いて6回磨かれた歯のエナメル質表面(×25)

がみられた。歯の表面が粗くなっている理由としては、オレンジジュースとコーラはどちらも酸性であり、それらが歯面に触れることで歯に含まれるカルシウムを溶かしたためであると考えられる。また、粗さの程度が異なっている点に関しては、コーラはpH値が低く、酸性度が高いことに加え、炭酸飲料であるため、歯を浸漬した際に歯の表面に気泡が付着し、歯面から離脱することによる機械的な力も歯面にはたらいいていたため、オレンジジュースに浸漬したものよりも表面が粗くなったと考えられる。

各種清涼飲料水に6週間浸漬した光重合型コンポジットレジン修復歯の表面をデジタル顕微鏡にて25倍に拡大したもの（写真2）について、飲料用水に浸漬した歯では歯面と充填物との間にギャップがみられなかったのは、歯面も充填物も飲料用水による影響を受けず歯に含まれるカルシウムの溶解が生じなかったためであると考えられる。一方、オレンジジュースやコーラに浸漬した歯においては、歯面と詰め物との間にギャップがみられた。この理由として、人工物である充填物の部分は、オレンジジュースやコーラの酸による影響を受けなかったことに対し、オレンジジュースやコーラに触れていた歯面は酸による影響を受け、歯に含まれるカルシウムが溶解したためであると考えられる。

各種清涼飲料水に6週間浸漬した歯科用金属によるインレー修復歯の表面をデジタル顕微鏡にて25倍に拡大したもの（写真2）について、飲料用水に浸漬した歯に関し、インレー面、セメント層、歯面の境界が滑らかであったのは、これらの面のいずれもが、飲料用水による影響は受けていないからであると考えられる。一方、オレンジジュースやコーラに浸漬した歯では、歯面が粗くなっていることが観察されるが、これはオレンジジュースやコーラにより歯面が溶かされた結果であると考えられる。また、オレンジジュースやコーラに浸漬した歯はセメント層が波打っているが、これは歯面の溶解によって歯面に近いセメント層が露出し、そのセメント層の露出部分が直接オレンジジュースやコーラに触れることにより、セメント層の辺縁がわずかずつではあるが液体の流れ等の力で崩壊していったためであると考えられる。なお、セメント層の波打ち度合いがオレンジジュースよりコーラの場合でより顕著なのは、前述のような炭酸の気泡付着と離脱の作用も加わることでセメント層辺縁の崩壊が促進されたためと推測される。

各種清涼飲料水への浸漬前後における無処置歯の重量変化について、飲料用水に浸漬した歯に関してほとんど重量の減少がみられなかったのは、中性である飲

料用水による歯に含まれるカルシウムの溶出がなかったためと考えられる。一方、オレンジジュースやコーラに浸漬した歯に関してはいずれも重量の減少がみられたのは、これらの酸性である清涼飲料水による歯に含まれるカルシウムの溶出が生じたためと考えられる。なお、浸漬による歯の重量減少の程度がオレンジジュースにおいてコーラよりも顕著なのは、オレンジジュースに含まれる酸の方がコーラに含まれる酸よりも、歯からカルシウムを溶出させる能力が高いことの現れであると考えられる。また、このことはオレンジジュースに浸漬した歯が外圧を加えることとなる程に歯が軟化した（写真4）という本実験の結果とも矛盾しない。さらに、オレンジジュースにはコーラよりもクエン酸が豊富に含まれている⁹⁾ことから、クエン酸は各種の酸の中でも歯からカルシウムを溶出させる能力が高い可能性も示唆される。

各種清涼飲料水に浸漬後のエナメル質表面の硬度について、飲料用水に浸漬した歯面のモース硬度が7で、天然歯のエナメル質と同等のモース硬度であったことに関し、中性の飲料用水による歯のカルシウム溶出がなく、歯の表面の性状に及ぼす影響がなかったためであると考えられる。一方、コーラに浸漬した歯のモース硬度は1と非常に低い値を示したことに関しては、コーラに含まれる酸による歯に含有されるカルシウムの溶出が生じ、表面の性状が脆くなったためと考えられる。また、オレンジジュースに浸漬した歯においても、モース硬度が計測できないほどに歯が軟化した事実より、オレンジジュースに含まれる酸による歯のカルシウム溶出が生じ、歯の表面のみならず深層においても性状が変化していることが推測される。

実験2

各種清涼飲料水に6週間浸漬し、その間に電動歯ブラシと歯磨剤を用いて6回磨かれた歯の表面のエナメル質について、オレンジジュースやコーラに浸漬したもののいずれの表面にもみられる同等の微細な凹凸は、使用した歯磨剤の粒度に一致していると考えられる。酸の種類によらず酸に触れた歯を、その直後に特に歯磨剤を用いて磨くと、歯のごく表層は削られ、歯磨剤に粒度に合わせて凹凸が形成されることが示唆される。本実験の結果は、特に酸性の飲料等を摂取した直後の歯磨きにより、歯が僅かずつではあるが削られていく裏付けとなりうると考えられる。

V. まとめ

本研究の実験結果より、酸性の清涼飲料水は歯を溶

かしうるということが確認された。また、歯が溶ける度合いは、酸の種類や炭酸のように溶液中に気泡を発生しうるものにおいては気泡の物理的作用といった複数の要素が関わりあっているであろうという示唆も得ることができた。さらに、修復歯においては各種酸性溶液への浸漬により人工物である充填物や修復物と歯面の境界部分にギャップが生じることが明らかとなり、歯の酸蝕により同部への歯垢の易付着性が高まることでう蝕の再発（二次う蝕）の可能性も増大するという、歯科臨床的問題につながりうる結果も得ることができた。

また、酸性の清涼飲料水を摂取した直後の歯磨きの影響についても、歯を僅かずつ削っていくことになりうるということが確認された。

本研究によって得られた示唆は、酸性の清涼飲料水の摂取する機会が多いわれわれ現代人にとって、それらの摂取そのものを制限するのではなく、摂取するものの種類、摂取頻度、摂取量、摂取後の対応等の一助となり、歯科口腔保健の向上にも寄与しうると考える。

文献

- 1) 畑中三応子.ブームとトレンドから見る日本人の食行動 ～高度経済成長期から現在まで～.日本栄養士会雑誌.2018;61(1):4-7.
- 2) 「清涼飲料の50年」 編集委員会.清涼飲料の50年.東京: 社団法人全国清涼飲料工業会 2005;1-38.
- 3) 小林賢一.歯が解ける！ エロージョンの診断から予防まで.東京:医歯薬出版 2009;2-77.
- 4) 橋口真紀子,山崎要一.小児歯科における酸蝕症の予防と対応.小児歯科臨床.2014;19(6):12-17.
- 5) 山本 龍生.疫学からみた酸蝕症.小児 歯 科 臨 床. 2014;19(5):16-21.
- 6) 覚道健治,平井義人,前田芳信.歯科臨床研修マニュアル 起こりうる問題点と解決法.京都:永末書店 2002;25-26.
- 7) 黒崎紀正,小野瀬英雄,住友雅人他.イラストレイテッド クリニカルデンティストリー ②歯・歯髄・歯周組織の疾患.東京:医歯薬出版 2001;18-23.
- 8) 笠原浩.臨床の目 臨床の手 ビギナーのための実践マニュアル.東京:デンタルダイヤモンド社 1997;238-249.
- 9) Lussi A CarvalhoRJ.Erosive tooth wear:a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge.Monogr Oral Sci.2014;25:1-15.