〈研究報告〉

酸性の清涼飲料水がヒト永久歯の健全エナメル質に与える影響に関する文献検討

A review of the effects of acidic soft drinks on the healthy enamel of human permanent teeth

中島沙依香　岩瀬悠起　長谷川誠　村上鈴佳　柴野荘一

東京医療保健学部　医療保健学部　医療情報学科

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

Division of Healthcare Informatics Faculty of Healthcare

要　　旨：目的：酸性の清涼飲料水による、ヒト永久歯の健全エナメル質への影響および要因を明らかにすること。

方法：医学中央雑誌 Web 版にて検索式「“ 炭酸飲料 ” or（“ 飲料 ” or “ 清涼飲料水 ”）and 歯」をもちいて検索し得られた文献のうち、非酸性の飲料・酒類・乳製品をもちいて検討しているもの、ヒト永久歯の健全エナメル質部分に関連しない文献を除外した先行研究 9 編が検討対象となった。

結果：各文献を検討し、各清涼飲料水への歯牙の浸漬により、脱灰による表面性状の変化が観察された。ただし、浸漬時間や pH、個体差など種々の要因によって侵蝕効果が異なることが判明した。

結論：酸性の清涼飲料水は、ヒト永久歯の健全エナメル質に対して脱灰をはじめとする影響を与えていることが明らかとなった。種々の複合要因により、酸蝕症のリスクは上昇するため、酸性度の低くリン酸やクエン酸の含有量が低い清涼飲料水の選択および口腔内ケアの配慮が重要であると考えられる。

キーワード：清涼飲料水、永久歯、エナメル質、文献検討

Keywords：Soft drink, Permanent teeth, Enamel, Literature Review

Ⅰ．はじめに

現在、清涼飲料水はコーラ飲料などの炭酸飲料をはじめ、果汁飲料などさまざまな種類のものが普及している。また、清涼飲料水の摂取量は1960年頃より増加傾向にあり、特にコーラ飲料などの炭酸飲料についてはその生産量が顕著に増加している[1)]。これらの清涼飲料水は酸性であるものの割合が高く[2)]、市販されている各種飲料120種類を調査したところその73％の飲料がエナメル質臨界pH（pH5.5）を下回る値を示したという研究結果も存在する[3)4)]。よって、清涼飲料水がその中に含まれる酸による歯牙の化学的溶解である酸蝕をもたらす可能性が高いとされる[2)]。英国において、1993年には５～６歳児に対し、1996～1997年には４～６歳児に対し、乳切歯・永久切歯それぞれについての酸蝕の罹患率の調査結果を比較すると、乳切歯の酸蝕罹患率は唇側面において18%から38%に、舌側面においては51%から58%に増加していた[5)]。また、永久切歯については、唇側面において11%から28%に、舌側面においては28%から42%に増加していた[5)]。同調査結果は、とりわけ若年者における、炭酸飲料・スポーツ飲料・柑橘系の果汁を含む飲料などpHの低い飲料を多量に摂取する生活習慣により酸蝕が増加しつつある[6)]ことを裏付けるともいえる。しかしながら、酸蝕の罹患率は、測定にもちいる物差しとなる基準が研究により異なることが多く、また、酸蝕と他のトゥースウェア（咬耗・摩耗・アブフラクション（過度な咬合力により、歯頚部に応力が集中して歯頚部歯質が剥がれ落ちるように欠損した状態））を鑑別することは困難である。よって、調査結果等を単純に比較することは難しいという点には注意を要すると考えられる。歯科臨床の場においても歯の代表的な硬組織疾患であるう蝕とならび、診断や治療の重要性が増してきている。本研究では、酸性の清涼飲料水がヒト永久歯の健全エナメル質に与える影響に焦点をあて、先行研究から示唆を得ることにする。

Ⅱ．研究目的

酸性の清涼飲料水による、ヒト永久歯の健全エナメル質への影響および要因を明らかにすることを目的とする。

Ⅲ．方法

2021年３月29日に医学中央雑誌Web版をもちいて、検索日時以前に発表された文献の検索を行った。検索式「“炭酸飲料” or（“飲料” or “清涼飲料水”）and 歯」をもちいて、「原著論文」の条件で検索し、548編が抽出された。また、他の情報源から入手した文献１編を追加し、合計549編になった。そのうち、非酸性の飲料・酒類・乳製品をもちいて検討しているもの、ヒト永久歯の健全エナメル質部分に関連しない文献を除外し、酸性の清涼飲料水がヒト永久歯の健全エナメル質に与える影響について述べられている先行研究９編[7)~15)]を分析対象とした。文献検索の過程を**図１**に示す。分析の視点は、各文献の目的、結果に記述されている酸性の清涼飲料水および酸蝕に関連すると解釈できる記述内容の抽出と整理である。

Ⅳ．結果

抽出した文献９編についての文献一覧と内容の分類結果を**表１**に示す（なお、参考として各文献に記載されている考察についても、文献一覧表に記載している）。

１．エナメル質表面のpH測定結果

エナメル質表面のpHの変化に関しては、文献１、２にて飲料摂取前のpHに戻るまでの時間は、被験者および飲料によって差が生じることが述べられていた。文献２では、比較対象とした飲料のうち、コーラ飲料（pH2.2）は早期に摂取前のpHに戻った一方、スポーツ飲料（pH3.3）では戻るまでに最も時間を要したと述べられていた。

２．エナメル質表面変化の観察

エナメル質表面変化に関しては、文献３では肉眼で、文献４、５、６、７では顕微鏡での観察結果について述べられていた。文献３では、エナメル質表面の艶消失や白濁化が見られ、とくにコーラ飲料では非浸漬部-浸漬部間に滑沢度の相違が観察されたと述べられている。文献４では、浸漬後のエナメル質表面に不規則な構造が観察され、とくに、グレープフルーツ果汁では、エナメル質構造に顕著な波状の脱灰溝が観察されたと述べられている。文献５では、どの飲料も、浸漬開始から10～15分で脱灰が拡大し始め、とくにレモンジュースにおいては、最も脱灰の進行が早く、15分経過時点よりエナメル小柱末端像が認められたと述べられている。文献６では、浸漬により、ハンターシュレーゲル条が鮮明に確認できるようになり、さらに浸漬時間を重ねることで、溶解が進み模様が不明瞭となったことが報告されている。文献７では、エナメル質表面は溶解し粗くなり、残存した部分は、半透明あ

るいは白濁化が見られたことが報告されている。

３．Ca溶出量の測定結果

Ca溶出量に関しては、文献４、８にて飲料の種類による差は生じているものの、浸漬時間が長いほどCa溶出量は増大する傾向にあると報告されている。文献４では、グレープフルーツ果汁は浸漬時間に係わらず著しく脱灰が進んだ。一方、オレンジジュースでは８日目、Sprite® では３日目以降で、脱灰量が一定となったことが報告されている。

４．脱灰量と清涼飲料水のpHとの関連性

文献８および文献９にて、脱灰量は、溶液のpHのみに依存するということは認められなかったと報告されている。文献８では、浸漬溶液の中で最も低いpHの飲料よりも、pHの高い飲料で脱灰量が多くなる場合があったことから、pHが低いほど脱灰量が増大するということは認められなかったと述べられていた。文献９では、複数の酸性清涼飲料水（pH2.3 ～ pH3.7）に歯牙を浸漬させたところ、浸漬開始から１分経過時点より脱灰が観察され、脱灰の程度は浸漬時間に依存したと述べられていた。

Ⅴ．考察

今回抽出した９編の分析から、酸性の清涼飲料水がエナメル質に及ぼす影響が明らかとなった。

文献２にて、スポーツ飲料ではエナメル質表面のpHが摂取前の状態に戻るまでに時間を要したが、コーラ飲料は早期に戻ることが述べられている。また、文献３では抜去歯牙においてはスポーツ飲料よりコーラ飲料の方が酸蝕能が高いことが述べられている。これらより、浸漬実験における清涼飲料水の酸蝕能は、生体への影響力に必ずしも一致しないことが示唆される。

文献８、９では、脱灰量がpHに依存することは認められなかったと述べられていた。このことより、脱灰を促進する要因はpHに限らず、その他の要因があることが考えられる。同文献にて、脱灰量は浸漬時間に依存することが報告されている。一方、文献４では、浸漬開始から数日経過時点よりCa溶出量は一定となったことが述べられていた。浸漬実験において、文献４では17日間浸漬していたことに対し、文献８、９ではそれぞれ３分間、48時間と浸漬時間は比較的短時間であった。このことから、短時間飲料がエナメル質に接触している状態を維持すると、急速なエナメル

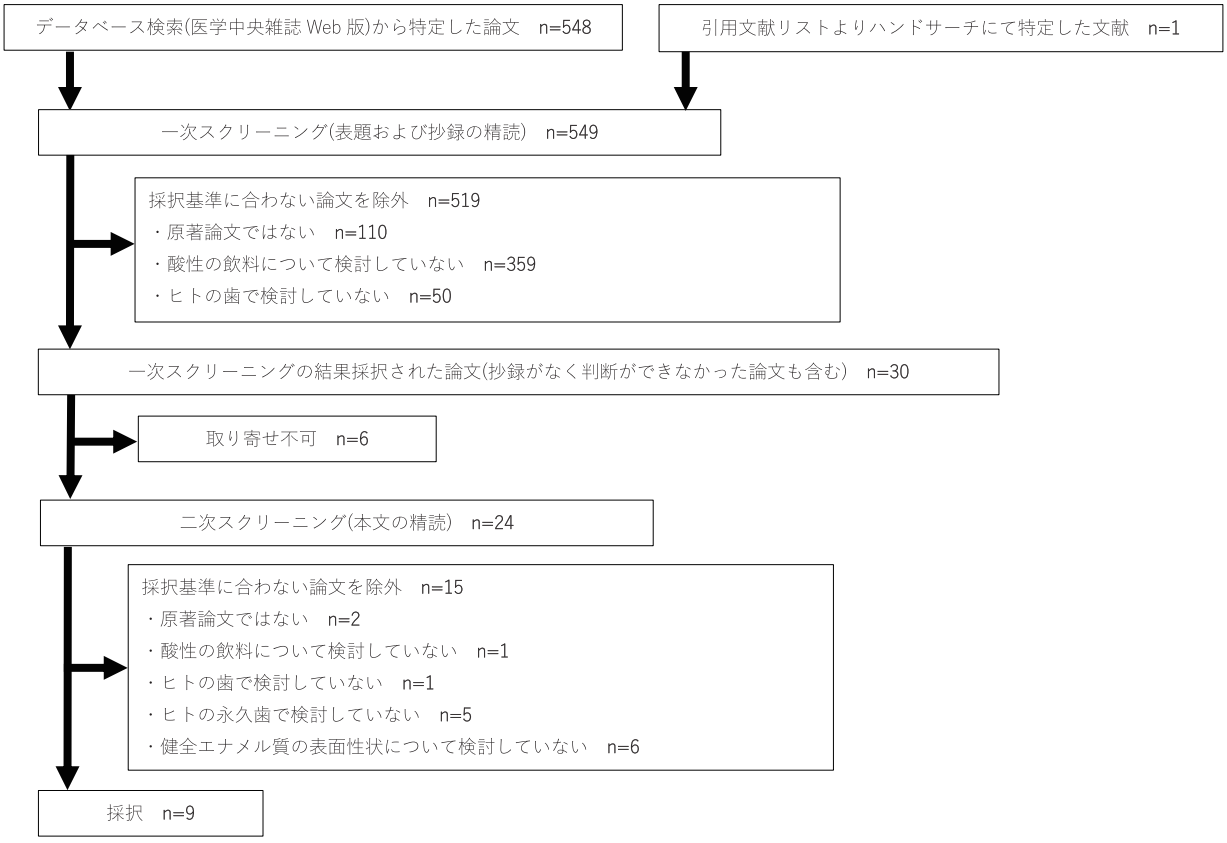

図１　文献検索の過程

表１　酸性の清涼飲料水がヒト永久歯の健全エナメル質に与える影響に関する文献一覧

No.	表題	出版年	目的	結果	著者の考察	内容の分類
1	清涼飲料水摂取前後のエナメル質表面のpH変化と唾液の流量・pH・緩衝能との関連性について	2016	清涼飲料水による酸蝕歯発生のリスクを低減させるために有用となる指導プログラムを構築するための基礎データの取得する。	麦茶は、ほかの清涼飲料に比べ、全被験者で早期に摂取前のpHに戻ることが示された。麦茶以外の飲料では、被験者や飲料の種類によって戻る時間が異なった。	安静時の数値と考えられる清涼飲料水摂取前のエナメル質表面のpHは唾液のpHと比較して低値となった。その理由として、唾液pHは唾液内の重炭酸塩などの緩衝物質の影響を受け中性が保たれている。また、エナメル質表面は周囲に生息する細菌の代謝産物の影響を受けやすいということが推察された。	エナメル質表面のpH測定結果
2	エナメル質表面のpH測定によるう蝕リスク評価の有用性に関する基礎的検討	2016	エナメル質表面のpH測定法を確立し、さらにう蝕リスク評価法としての有用性を検討する。	清涼飲料水摂取後のエナメル質表面のpHは低下していた。 最も早期に摂取前のpHに戻った飲料はコーラ、最も時間を要した飲料はスポーツ飲料であった。 低下の程度は、飲料pHの高低に依存するものではなく、被験者によって異なっていた。	エナメル質表面のpHはいずれの被験者においても、唾液のそれに比べ低いことが明らかとなった。その理由としてはエナメル質表面のバイオフィルムや周囲に生息する細菌の存在が考えられ、エナメル質表面に付着している細菌は代謝を繰り返しており、その産物として酸が生成され表面に影響を与えている可能性があると推察された。	エナメル質表面のpH測定結果
3	飲料水の違いによる酸蝕能	2017	清涼飲料水によるアスリートのエナメル質脱灰の原因を検討する。	エナメル質表面の滑沢度の低下、表面の白濁が見られた。 清涼飲料水の非浸漬部と浸漬部との間で滑沢度に明らかな相違が見られた。	クエン酸が本実験で最もエナメル質表面に影響を与えていた。他と比較して、クエン酸においては短時間で表面脱灰が進んだものと考えられる。	エナメル質表面変化の観察
4	清涼飲料水の歯牙におよぼす影響	1984	脱灰性の観点から、清涼飲料水が歯牙に対してどのような影響を及ぼすのかを検討する。	浸漬溶液の中で、とくにグレープフルーツ果汁に浸漬した歯牙においては、侵蝕による不規則な構造が観察された。 24時間経過後は、グレープフルーツ果汁およびF.オレンジは他と比べ急速なピッチで脱灰が進んだ。	実験結果から、脱灰はpHだけに影響されるものではなく、本実験では明確に原因を述べることはできないが、少なくとも各清涼飲料水の成分中に脱灰性を強化する因子が含有されているのではないかと考察される。清涼飲料水に歯が接触する時間は大変短いが、脱灰性から考察して清涼飲料水が歯牙に対して悪影響を及ぼすことが分かった。	エナメル質表面変化の観察 Ca溶出量の測定結果
5	ヒトのエナメル質に対する果汁入り清涼飲料の脱灰性とその対策に関する研究	1971	実験的に果汁入り清涼飲料水がエナメル質におよぼす影響とその対策について検討する	第1章では、 各種ジュースは、それぞれ同pHに調製したクエン酸よりエナメル質に対する脱灰性が強く、 レモンジュース>オレンジジュース≒アップルジュースグレープジュース>パインジュースの順であった。第２章では、ジュース含有主要酸であるクエン酸、酒石酸、リンゴ酸のエナメル質に対する脱灰性は、同pH条件下でクエン酸が最も強く、次いでリンゴ酸、酒石酸の順であった。第3章では、エナメル質粉末において、オレンジジュースとクエン酸で比較すると、ジュースの場合の方が強脱灰性を示した。	クエン酸は、エナメル質を容易に脱灰させ、そこに機械的刺激が加わると咬耗あるいは摩耗の誘因となることが考えられた。	エナメル質表面変化の観察

6	Carbonated Soft Drink－Soaking Change the Crystallographic Properties of Human Tooth Ename1 －A Micro－XRI）Study	2019	顕微鏡をもちいて、炭酸飲料が侵蝕力をはじめとした歯のエナメル質に与える影響の変化を明らかにする。	サンプル①④：浸漬前では確認できなかったが、浸漬時間を重ねることで、ハンターシュレーゲル条が鮮明に確認できるようになった。 サンプル②：浸漬前からハンターシュレーゲル条は見受けられ、一週間後には確認ができぬほど溶解していた。 サンプル③ ：浸漬前からハンターシュレーゲル条はあまり確認できなかったが、一週間後には、溶解により不明瞭となった。	人間の歯のエナメル質は個体差がある。そのため、エナメル質の変化を説明するためには、今後の研究において、さらに多くの歯の情報を取得して検討する必要があると考えられた。	エナメル質表面変化の観察
7	Erosion by an Acidic Soft Drink of Human Molar Teeth Assessed by X－Ray Diffraction Analysis	2017	炭酸飲料Sprite®によるヒトの歯のエナメル質および象牙質の反応を明らかにする。	サンプル①：炭酸飲料に浸漬後、エナメル質はほとんど溶解し、残ったエナメル質は半透明または白濁しており、エナメル質は少なくとも表面が粗くなっていた。 サンプル②：サンプルの中で、炭酸飲料への浸漬による変化が最も少なかった。エナメル質はわずかに透明度が増し、白濁部分は少し強調されていた。 サンプル③：炭酸飲料への浸漬により、エナメル質は激しく侵蝕され、部分的に溶解していた。	侵蝕効果はエナメル標本の間で顕著に変化し、ほとんど影響を受けていないものから侵蝕されたものまで多様であった。	エナメル質表面変化の観察
8	市販嗜好飲料溶液が歯質に及ぼす影響についての研究ー成分分析とエナメル質表層Ca溶出量ー	1984	消費量が増大している清涼飲料水が歯質に及ぼす影響について明らかにする。	全体として浸漬時間が増すに従い、Ca溶出量が増大している傾向にあるが、飲料の種類によって傾向は異なっていた。また、pHの低い溶液ほど、Ca溶出量が大きいということは認められなかった。	酸性度とCa溶出量は関係性が低いと考えられる。 浸漬早期にCa溶出量が大きい溶液ほど、経時的にCa溶出量は少なくなると考えられ、溶液中のCaとPの濃度が増加すると、エナメル質表面の溶解は抑制される傾向にある。 清涼飲料水については、Ca溶出量に関与する清涼飲料水に含まれる種々の成分が、要因として複雑に絡みあっているため今後検討していく必要がある。	Ca溶出量の測定結果 脱灰量と清涼飲料水pHとの関係性
9	清涼飲料水によるエナメル質の脱灰	1995	清涼飲料水によるエナメル質の脱灰の要因を電子顕微鏡をもちいて観察、検討する。	強酸性の清涼飲料水によって、歯牙エナメル質は脱灰し、その脱灰は、浸漬時間に依存していた。	浸漬前からすでに脱灰が観察されるものも多いため、清涼飲料水が浸透しやすく脱灰が起こりやすいことも考えられるが、浸漬前と比較して明らかに脱灰の進行が観察された。	脱灰量と清涼飲料水pHとの関係性

質脱灰が生じるが、数日にわたり継続すると、脱灰量増加の傾向はみられなくなると考えられる。

以上の検討より、脱灰はpHや浸漬時間のみに影響されるものではなく、その他清涼飲料水に含有される成分など種々の要因が複合されていると推測される。

中でも、清涼飲料水に多く含まれる酸および糖による影響が考えられる。酸性の清涼飲料水には、クエン酸やリン酸、リンゴ酸などを主とする各種の酸が含有されている。酸の種類により、水素イオン放出力は異なっており、各種の酸の水素イオン放出力を示す解離定数（pKa）を**表2**に示す[16)]。**表2**より、特にリン酸、クエン酸において解離定数は低値を示すことがわかる。リン酸はコーラ飲料に、クエン酸は清涼飲料水全般に含有される割合が多い酸である。これら2種類の酸は、酸の水素イオンが歯のリン酸カルシウム（ハイドロキシアパタイト）からリン酸を奪う作用に加え、酸の陰イオンが歯質からカルシウムイオンを奪うキレート作用も有している。さらに、これらの酸に各種糖が加わると、キレート作用が促進され、Ca溶出量にも影響を与えていると考えられる。これらの要因も相まって、リン酸やクエン酸は酸蝕能が高いことが推測される。よって、清涼飲料水を飲む際は、リン酸

表２　各種酸の解離解離定数

酸の種類	解離定数(pKa)
リン酸	2.2
クエン酸	3.1
乳酸	3.9
酢酸	4.8
炭酸	6.4

やクエン酸の含有量が低いもの（究極的には、炭酸のみが含まれる炭酸水）を選択することが、歯の酸蝕を抑制することにつながるのではないだろうか。

Ⅵ. 結論

今回さまざまな文献による検討から、酸性の清涼飲料水は、ヒト永久歯の健全エナメル質に対して脱灰をはじめとする影響を与えていることが明らかとなった。酸性の清涼飲料水に含有される種々の成分により、酸蝕歯のリスクは上昇する。酸蝕リスク抑制に向けて、比較的酸性度の低く、かつリン酸やクエン酸の含有量が低い清涼飲料水を選択すること、また、エナメル質表面のpHを早期に摂取前の状態に戻すべく摂取後に口をすすぐ、酸性の清涼飲料水の摂取直後は歯面が脱灰されているためブラッシングをしないといった口腔内ケアの配慮が必要であると考えられる。

文献

1）阿部慶一, 西村保親, 山﨑皓一 他. 清涼飲料の50年. 東京:社団法人全国清涼飲料工業会 2005;37
2）小林賢一. 歯が溶ける！エロ―ジョンの診断から予防まで. 第1版. 東京:医歯薬出版株式会社 2009;5.
3）北迫勇一. 各種飲食物の酸性度と酸蝕歯の関係. 日本歯科医師会雑誌 2010;63(9):19-27.
4）北迫勇一. 酸蝕歯の臨床的評価とその対応. 歯科審美 2013;25(2):32-37.
5）小林賢一. 歯が溶ける―酸蝕（Erosion）とは―. 歯界展望 2005;106(6):1118-1123.
6）前掲書2) :2.
7）水上詩季子, 佐藤勉. 清涼飲料摂取前後のエナメル質表面のpH変化と唾液の流量・pH・緩衝能との関連性について. 日本歯科大学東京短期大学雑誌 2016;6:113-119.
8）佐藤勉, 鈴木恵, 鴨井初子. エナメル質表面のpH測定によるう蝕リスク評価の有用性に関する基礎的検討. 日本歯科人間ドック学会誌 2016;11:14-20.
9）野見山和貴, 安部好美, 渡邉美紀. 飲料水の違いによる酸蝕能の比較. 大分県歯科技術専門学校紀要 2017;4:25-31.
10）河瀬光江, 関根昌江, 安東由美子, 境田そのえ. 清涼飲料水の歯牙におよぼす影響. Quintessence Journal 1984;7:7-14.
11）高岡諄. ヒトのエナメル質に対する果汁入り清涼飲料の脱灰性とその対策に関する研究. 口腔衛生学会雑誌 1971;21:7-34.
12）Tetsuro Kono, Arata Watanabe, Takeshi Kanno, et al. Carbonated Soft Drink - Soaking Change the Crystallographic Properties of Human Tooth Enamel - A Micro - XRD Study 2019;28:129-137.
13）Hiroya Gotouda, Ikuo Nasu, Tetsuro Kono, et al.Erosion by an Acidic Soft Drink of Human Molar Teeth Assessed by X-Ray Diffraction Analysis 2017;26:81-85.
14）鴨志田義功. 市販嗜好飲料溶液が歯質に及ぼす影響についての研究 成分分析とエナメル質表層Ca溶出量 1984;10:205-227.
15）西口栄子, 伊ケ崎理佳, 鈴木幸江, 藤野富久江, 渡部恵子. 清涼飲料水によるエナメル質の脱灰 1995;45:314-321.
16）伊藤直人. カリエスブック 5ステップで結果が出るう蝕と酸蝕を予防するカリオロジーに基づいた患者教育. 第1版. 東京:医歯薬出版株式会社 2020;74.