

平成18年2月10日

日本歯科医学会
会長 齋藤 毅 様

医療環境問題検討臨時委員会
委員長 宮武 光吉

答 申 書

平成15年5月30日付、日歯学会発第57号をもって諮問のありました下記について、調査・検討した結果を取りまとめましたので、ここに答申いたします。

[諮問事項]

- 歯科用剤品（ビスフェノールA、水銀、生体剤品など）の環境への影響
- 齲蝕予防におけるフッ素剤応用の現状分析
- 歯科医療に影響を及ぼす環境因子について

【医療環境問題検討臨時委員会】

委員長 宮 武 光 吉

副委員長 中 村 正 明

委員 荒 川 浩 久

同 高 橋 好 文

同 吉 田 隆 一

【委員会開催状況】

第 1 回 平成 1 5 年 7 月 1 8 日 (金)

第 2 回 平成 1 5 年 1 2 月 9 日 (火)

第 3 回 平成 1 6 年 2 月 1 7 日 (火)

第 4 回 平成 1 6 年 4 月 8 日 (木)

第 5 回 平成 1 6 年 7 月 2 0 日 (火)

第 6 回 平成 1 7 年 3 月 7 日 (月)

第 7 回 平成 1 7 年 6 月 1 7 日 (金)

第 8 回 平成 1 7 年 1 0 月 2 8 日 (金)

第 9 回 平成 1 7 年 1 2 月 1 日 (木)

第 1 0 回 平成 1 8 年 1 月 2 7 日 (金)



日歯学会発第57号
平成15年5月30日

日本歯科医学会
医療環境問題検討
臨時委員会委員長 殿

日本歯科医学会
会長 齋藤 毅

諮 問 書

昨今の国民の健康意識の高まりを反映し、医療環境問題への対応が日常的に求められております。

つきましては、前年度に引き続き、下記事項を学問的見地からご検討いただき、答申方をお願い申し上げます。

記

- 歯科用剤品(ビスフェノールA、水銀、生体剤品など)の環境への影響について
- 齶蝕予防におけるフッ素剤応用の現状分析について
- 歯科医療に影響を及ぼす環境因子について

目 次

はじめに	1
医薬品・医療機器（歯科材料）などの有効性、安全性について	2
I. 歯科用材料の使用に関わる医療ならびに自然環境への影響について	5
1. 高分子歯科材料	5
1. 1 内分泌攪乱作用	5
1. 2 アポトーシス	7
1. 3 その他	7
1. 4 今後の課題	7
2. 金属歯科材料	9
2. 1 金属アレルギー	9
2. 2 内分泌攪乱作用	10
2. 3 今後の課題	11
3. アマルガム	13
3. 1 水銀のリリース	13
3. 2 アマルガム修復と体液、器官、臓器中水銀量について	13
3. 3 アマルガム修復と水銀アレルギー	15
3. 4 アマルガム修復と健康影響	16
3. 5 環境への影響	17
3. 6 その他	17
3. 7 今後の課題	18
4. セラミック材料ーアスベスト	20
4. 1 アスベスト問題の経緯	20
4. 2 アスベストの人体への害作用	21
4. 3 歯科医療におけるアスベスト使用	21
4. 4 歯科医療における現状	22
4. 5 今後の課題	22
5. 生物由来の医薬品など医療機器	24
5. 1 新たな治療オプション	24
5. 2 今後の課題	24

II. 歯蝕予防におけるフッ素剤応用の現状分析について	37
1. 国内の現状	37
1. 1 フッ化物配合歯磨剤	37
1. 2 フッ化物歯面塗布	38
1. 3 フッ化物洗口	39
1. 4 歯列矯正装置装着児へのフッ化物応用	41
1. 5 水道水フッ化物添加	41
2. 世界の現状	42
3. 今後の課題	43
III. 歯科医療に影響を及ぼす環境因子について—電磁波の生体への影響—	48
1. 電場の影響	48
1. 1 生物学的作用	48
1. 2 携帯電話について	49
1. 3 各種医用機器への電波の影響	49
1. 4 歯科における電場	50
2. 磁場の影響	51
2. 1 人に対する影響	51
2. 2 歯科における磁場	53
3. 今後の課題	53

はじめに

近年、医療の現場を取り巻く環境は、ますます複雑かつ困難を極めております。

一方、国民の健康保持増進に対する意識の高まりを反映し、国民の健康水準の向上には目覚ましいものがあります。

さらには、急激な社会構造と疾病構造の変化に伴い、医療環境も変わりつつあり、医療に対する国民のニーズと期待は、多様化かつ高度化しています。

このような社会的背景の中で、医療が直面している現状と課題を正確に分析し、科学的な根拠に基づいた適正な調査が日常的に求められています。

この状況を受け、本学会では、平成 15 年 5 月 30 日に医療環境に関わる諸問題を検討する臨時委員会（医療環境問題検討臨時委員会）を設置いたしました。日本歯科医学会会長は時勢を見据え、本委員会に対し、「歯科用剤品（ビスフェノール A、水銀、生体剤品など）の環境への影響について」と「齲蝕予防におけるフッ素剤応用の現状分析について」並びに「歯科医療に影響を及ぼす環境因子について」諮問しました。既に、前任期の医療環境問題検討臨時委員会（中村 亮委員長）から「アマルガムに使用される水銀、その他の歯科材料ならびに生物由来の医薬品および医療用具などが、ヒトおよび自然環境に及ぼす影響について」の答申（平成 15 年 2 月 21 日）が提出されています。

本委員会では、その答申以降の情報収集と現状分析を行い、昨年度より新たな諮問事項である「電磁波の生体への影響」を加え、平成 15 年度の中間報告（平成 16 年 3 月 19 日）、平成 16 年度の中間報告（平成 17 年 3 月 18 日）に引き続き、ここに 3 年間の最終報告をいたします。

医薬品・医療機器（歯科材料）などの有効性、安全性について

1. 新製品の開発と有効性・安全性

医薬品や歯科材料などの医療機器は、医療現場で使用されるに際して、製造・販売・輸入業者の手を経ることが多い。もちろん、医師、歯科医師が自ら開発したものを患者に使用することは認められているが、その場合には、そのものについての有効性や安全性を自ら確認するとともに、患者などに対して説明する責任があり、また使用した結果についても責任を負うことになる。現在のように複雑な社会環境の下にあっては、医師や歯科医師が単独で新しい医薬品や医療機器を開発することは、困難なことが多く、また時間や費用を費やさねばならないことから、このようなことは業者に委ねているのが一般的である。

医薬品などの製造・販売に際しては、その有効性や安全性について客観的な評価の下に、行政当局の許認可を受けることが必要とされており、さらに医療保険に適用されるに当たっては、使用医薬品または歯科材料として収載されることが必要とされている。また、その使用に際しては、対象疾病、用量、用法および使用に当たっての注意事項などが定められており、それらに基づくことが必要とされている。従って、これらに準拠して使用している限り、その効果や安全性については国が保証していると考えられる。

新しい製品が開発されて使用される場合には、ある期間内に予期しない不都合が生じることは避けられないことであり、このようなことを発見した場合には、速やかに報告するとともに、対策を講じることが必要である。医薬品などにはモニタリング制度があり、医薬品副作用情報が随時公表されている。

2. 情報の正しい判断基準

医薬品などの効果や副作用は、社会的な関心が大きく、そのためマスメディアに大きく取り上げられることが多い。しかし、このような報道には正確性や妥当性を欠くものもよくあることから、これらの情報について正しく判断することが求められている。例えば、原因と結果の混同、質や量の不正確な把握、「問題の有無」についての評価といった事柄について、科学的に正しく判断する基準を持つことが重要となる。

科学的な判断を行うには、疫学的研究により因子間の相関関係を調査し、相関関係が得られた場合には、さらに偶然性、バイアスさらに交絡因子などについての検討を行い、因果関係を確定することが必要である。因果関係の確定には、関連の普遍性や密接性などについての検討が求められる。関連領域の論文発表が、世界中から絶え間なくなされているが、これらについて科学的かつ公平に評価をすることが必要である。

既に発表されている論文の評価に当たっては、評価者は一定の基準に従って公平かつ客観的な視点に立つて行うことが必要であるが、論文に対する評価に当たってはメタアナリシスあるいはシステマティック・レビューといった手法により総合的になされることが求められている。これらの方法は、コンピュータを駆使して統計的に処理されるが、基本的には学識経験のある研究者によってなされなければ、無意味なことになると考えられる。

3. 個人の責任と学会の責任

臨床的な研究を行うことは、臨床家にとっては日常の診療活動に加えてその意義を科学的に解明し、公表することにより社会的に普遍的なものとしていくための過程であるといえる。臨床的な研究には、診療技術、医薬品・医療機器の開発を伴うものもあるが、これらの有効性や安全性についての評価は専門学会における発表・討論により客観的なものとして認知される。従って、学会発表や論文の公表は研究者個人が行った研究を、科学的さらに社会的に評価するために必要なプロセスであり、この過程を通らない研究は客観的な評価を得ていないものとされている。また最近では、臨床的な研究を行うに際して、被験者の承諾や所属施設の倫理審査委員会の承認を得ることが必要とされているが、このことは臨床研究が科学的のみならず人文・社会的な観点からも考慮すべきものであることを示している。

一方、専門学会は会員に研究発表の場を提供するとともに、そこでなされた発表について質疑討論などを行うことにより、科学的な観点から正確性、客観性のある検討を加え、専門家集団として認知することになる。さらに、論文公表に際しては、査読制により正確さが一層検証され、これらの過程が維持されていることが明らかにされていることにより、社会的にもその学会の存在や機能が認められているといえることができる。

4. マスメディアとの関係

臨床研究を含め、あらゆる研究活動には社会的な関心がもたれており、その内容がマスメディアに研究発表の前後に取り上げられることがある。また、取材記者の関心のある事柄については、個別に取材活動が行われている。研究の自由とともに報道もまた自由が保障されており、これらを拒否することはできないのが一般的であるが、興味本位の報道意図に対しては、研究者側の考えにより取材を断ることはやむを得ないことである。ことに健康に利害がある事柄については、熱心かつ継続的に報道がなされることがよくみられる。これらに対して、まったく無視することはできないが、かといって問題についての全面的な取材を受けることは、時間的あるいは能力的なさまざまな困難を伴っていることが多い。

5. 今後の課題

歯科医療に用いられる医薬品や医療機器の有効性や安全性については、一般の医療に用いられているものと同様に、さまざまな規制がなされているが、近年になって医薬品や医療機器の製造および品質管理、さらに市販後の安全対策が重要な課題となり、これらに対する体制が整備されてきた。ことに、安全性については定期的な報告が、企業側のみならず医療提供者側からも提供され、これらの情報に基づいて安全性の確保が実施されている。

その上、今回諮問されたような医薬品や医療機器が患者のみならず周囲および自然環境におよぼしている影響に関しては、未解明の事項も多く、今後さらに継続的に情報を収集分析していくべき分野である。すでに欧米においては、歯科材料などについて、その害作用を全国的に歯科医師および歯科技工所から調査を行いその結果を報告している¹⁾。わが国においても、日本歯科医学会および日本歯科医師会が中心になって、これらについて常に調査・分析する体制を構築していくことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) The national survey of adverse reactions to dental materials in UK: a preliminary study by the UK Adverse Reactions Reporting Project. Br Dent J., 196(8):471-477, 2004.

I. 歯科用材料の使用に関わる医療ならびに自然環境への影響について

1. 高分子歯科材料

1.1 内分泌攪乱作用

平成 15 年に報告を行って以降、今日にいたるまでの間に以下のような報告が見られる。まず、*in vitro*においてビスフェノール A (BPA) がマウス骨髄由来破骨細胞前駆細胞から破骨細胞への分化に及ぼす影響を調べた研究において、BPA がそのエストロゲン様作用によって破骨細胞への分化を抑制したと報告している¹⁾。また、BPA が亜硝酸塩と共存すると、エストロゲン様作用はもとより、本来は BPA にはない変異原性がみられるようになったとの報告がある。すなわち、pH3.0 の強酸下で共存した際に、Ames テストならびに雄マウス血液の小核テストで調べた際の結果を受けて、ヒトにおいて実際にそのような現象が一切確認されてはいないとしながら、両物質が種々の経路で生体内へ到達する可能性とともに、体内では胃で強酸環境の存在がある点について触れ、その生理的意義について明らかにする必要性を説いている²⁾。一方、*in vivo*において微量の BPA が生殖器発育に及ぼす影響を調べた報告がある。雌マウスへ妊娠期に 25ng および 250ng/kg/日 を作用させると、その仔雌マウスが成長した後に膣湿重量の減少、子宮内膜固有層の容積減少、子宮内膜腺上皮細胞の DNA への 5-プロモデオキシウリジン取り込み量の増加、子宮内膜の管腔上皮および上皮下基質のエストロゲンレセプター— α ならびにプロゲステロンレセプターの発現増加がみられた。これらの結果から、生殖器の発生に関与するエストロゲンの遺伝子発現に BPA が影響を及ぼしている可能性をあげ、その結果として視床下部—下垂体—生殖腺を軸とする生理機能に長期間にわたる BPA の影響が残るとの考察をしている³⁾。BPA がラット脳の海馬シナプシスのリモデリングを有意に抑制したとの報告がある。卵巣を摘出した雌ラットに BPA を作用させた場合に、40 μ g/kg の低濃度で本来はエストロゲンで活性化される海馬シナプシスの形成阻害があった。記憶、とくに認知の発育に関わっているとされる海馬シナプ시스への影響が懸念されると考察している⁴⁾。

*In vitro*において、主にコンポジットレジン抽出液をレポーター遺伝子アッセイによってそのエストロゲン様作用を調べた報告によると、24 市販品ならびに 18 組成成分の中で 6 市販品ならびに一部の安定剤、光増感剤、禁止剤にエストロゲン様作用が認められたとの報告がある⁵⁾。コンポジットレジンの抽出液が雄マウスの受精能に及ぼす影響を調べた報告では、生殖器重量及び精子数が有意に減少すると共に、雌マウスとの交配後の妊娠率が顕著に減少したとしている⁶⁾。引き続き、同じ研究グループがコンポジットレジンの抽出液ならびに BPA が雌マウスの受精に及ぼす影響を調べているが、BPA によって子宮重量が増すと共に、顕著な妊娠率の減少が認められたとしている。また、高速液体クロマトグラフィ

一による抽出液の分析によって、コンポジットレジン組成成分のトリエチレングリコールジメタクリレート (TEGDMA)、Bis-GMA 及び BPA の順に抽出物が認められたと報告している⁷⁾。ポリカーボネートクラウンを 37°C および 65°C で 24 時間にわたって蒸留水、エタノール、n-ヘプタン、酢酸およびアセトニトリル中にて抽出したところ、エタノール、酢酸およびアセトニトリル抽出後に BPA の溶出が認められたと報告している。さらに細胞培養にてヒトテロメラーゼ (hTERT) プロモーターで BPA の影響を調べた結果、BPA は hTERT の転写に影響を及ぼし、hTERT の mRNA の発現レベルを増したとし、hTERT が今後の BPA の影響を評価する上で重要な指標になると考察している⁸⁾。

フタル酸エステル類を含む高分子歯科材料に関する報告も引き続いてなされている。ヒト唾液中にレジン系仮封材を 1 時間浸漬するとフタル酸ジブチル (DBP) が検出され、その後経時的に減少したのに対して、フタル酸モノブチル溶出が増加したとしている⁹⁾。同じ研究グループによる関連研究では、20%エタノール水溶液中では唾液中よりも数倍以上の溶出が認められたとしている¹⁰⁾。さらに食品へのフタル酸エステルの移行について調べた結果、牛乳への移行を確認している¹¹⁾。また、レジン系仮封材の練和直後ならびに硬化物からの DBP ならびにブチルフタリルグリコール酸ブチル (BPBG) の溶出挙動についても報告されている¹²⁾。それによると、静置状態では蒸留水および人工唾液への溶出は認められなかった。しかし、振とうした場合には練和後 20 秒間では溶出が認められたものの、その後は急速に減少したとし、硬化物については糞便中に 90% を超えるフタル酸エステル類が回収できたとしている。同じ研究者らによる粘膜調整材 3 市販品に含まれる 3 種のフタル酸エステル類、DBP、BPBG および BBP の溶出に関する研究から、時間経過につれて 10%エタノール水溶液中への方が蒸留水中よりも 1.7-2.3 倍多く溶出したとしている。3 市販品の中では疎水基を有するフタル酸エステルでは溶出が少なかった¹³⁾。また、粘膜調整材 4 市販品について、蒸留水、ヒト唾液、他 2 種の溶媒水溶液中で 30 日間にわたって抽出したところ、調べた DBP、BPBG、安息香酸ベンジル (BB)、サリチル酸メチルおよびサリチル酸ベンジルの 5 種類の可塑性材ともにいずれの市販品からも経日的に溶出が認められたと報告している¹⁴⁾。さらに口腔内におけるフタル酸エステル類の挙動についての報告がある¹⁵⁾。DBP、フタル酸ブチルベンジル (BBP) および BPBG について、ヒト唾液およびリン酸緩衝液中における 3 物質の分解性を 24 時間にわたって追跡した結果、唾液中の酵素によって加水分解され、その程度はフタル酸エステル類の化学構造と pH に依存したとしている。さらには歯科材料ではないが、治療時に必要な用品としてゴム手袋がある。塩化ビニル製ゴム手袋 4 製品からフタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) のヒト唾液への移行を *in vitro* で調べた結果、DEHP の移行が確認されると共に、唾液中の酵素作用の関与もあってフタル酸モノ-2-エチルヘキシル

(MEHP)も検出されたと報告している¹⁶⁾。

一方、環境化学物質代謝図を作成する環境省委嘱の研究班が内分泌攪乱作用を呈する化学物質等の35物質について、ヒトへの曝露経路および基準値、内分泌攪乱作用を含む種々の毒性像、体内動態および代謝等に関する最新の知見によって「環境科学物質の代謝とその周辺」¹⁷⁾を発刊した。その中には、高分子歯科材料関連でBPA、DBPやBBPもリストアップされている。しかし、内分泌攪乱作用あるいは問題となり得る体内動態について高分子歯科材料に関する記載は全く認められない。

1.2 アポトーシス

高分子歯科材料に広く使用されているモノマーのTEGDMAが、*in vitro*におけるヒト歯肉組織由来の初代培養細胞に対して細胞毒性を示すと共に、アポトーシスが用量ならびに時間依存的に認められたとの報告がある¹⁸⁾。また、ヒト歯髄組織由来の初代培養細胞へのTEGDMAによる類似の結果について報告すると共に、TEGDMAが細胞のシグナル伝達系に影響を及ぼしていることを示唆している¹⁹⁾。TEGDMAはコンポジットレジンや接着性レジンに約25%から50%の割合で配合されている。一般的に細胞死はネクローシスとアポトーシスとに分けられる。これまでに種々の化学物質に対するネクローシスについては多くの研究報告が行われてきているが、アポトーシスについてはほとんどデータがない。

1.3 その他

歯科用ではないが、組成上は類似のアクリルレジンが骨セメントの名で整形外科領域で使用されている。大腿骨頸部骨折、関節リウマチ等で関節に障害が生じた場合、人工関節等のインプラントで再建する時に生体骨内に骨セメントを注入して生体骨へ固着する。このような使用法で手術中の副作用として、死亡にいたる重篤な血圧低下、ショック、肺塞栓症等の副作用が平成13年4月から平成17年3月末までに国内で37例あり、その中には死亡例が30人を超えたとする報告がある。厚生労働省はこの件について過去に3回の医薬品・医療機器安全情報を出してきているが、それにも関わらずその件数が減少しないことから、平成17年8月に改めて安全情報を出して注意を喚起している^{20~23)}。

歯科治療においては、上記のように未重合アクリルレジンを経内深くへ使用する例はない。しかし、無歯顎症例において口腔粘膜表面へ、症例によっては、比較的広範囲なリベースの目的で常温重合アクリルレジンを使用する例はある。

1.4 今後の課題

1) 内分泌攪乱作用について

以上、高分子歯科材料あるいはその組成成分、とくにBPAやフタル酸エステル類がエストロゲン様作用を示すというデータの報告が近年になってあいついでいる。これにはこの問題が大きく取り上げられた1990年代後半以降のデータ集積、

実験手法や測定機器の精度向上等が関与しているし、またその後新たな生理的
局面からのデータの蓄積もみられるようになってきた。歯科医療に用いる歯科材
料としてどのように対応したらよいのだろうか。

(1) 歯科医療におけるコンポジットレジンの使用について

まず確認する必要があるのは、上記に示した *in vitro* ならびに *in vivo* における
種々のデータにも関わらず、指摘されている物質が原料ないしは組成の一部とな
っている歯科材料がヒトに直接的な健康影響を及ぼしたという報告はない点であ
る。いまひとつは歯科治療における有用性に対して、考えられるリスクとのバラ
ンスについて十分に考察しなければならない。種々の化学物質の内分泌攪乱作用
については、現在も国際機関、各国政府機関、わが国においては厚生労働省およ
び環境省等において引き続いて研究が進められている。その結果、これまでに生
物系への影響の複雑な様相が浮かび上がってきていて、限られた研究資源を効率
的に種々の研究方向へ配分しつつ検討されている様子が報告されている^{24,25)}。そ
こでは科学的エビデンスの集約に加えて、それらの社会に及ぼすインパクトの観
点からリスクコミュニケーションについても取り扱われている。やがてそれらの
研究成果が徐々に明らかになるにつれて、種々の分野において対応されていくこ
とになるが、きわめて長い時間を要する作業が予想される。その間も歯科医療現
場においては歯科材料を使用して患者の治療を進めていかねばならない。したが
って、最新の知見に基づいてリスクコミュニケーションを行いつつ対応せざるを
得ない。

(2) 代替材料の研究開発について

ある用途の歯科材料に懸念が生じた場合、歯科界としての対応は科学的エビデ
ンスに基づいて進められることとなる。治療上の有用性と副作用・不具合とのバ
ランスで最終的に判断される。歯科材料の研究・開発は歯科理工学や関連臨床歯学
および歯科産業界で行われ、種々の製品が歯科医療現場に提供され、歯科医療の発
展に貢献してきている。新しい材料が出現する契機にはいく通りかある。歴史的
にみて、義歯床用アクリルレジン、高速切削タービン、歯質接着レジンや光重合法
等が画期的な治療結果をもたらし、新しい歯科材料・器械が治療テクニックまでも
飛躍的に変えてきた。これらは治療現場において確実に安定した治療結果を得た
いと強い要望から実現した好例といえる。一方で、歯科材料に由来する生物学的
安全性に関わる問題点によって、代替が必要となる場合もあり得る。関連領域にお
いては、常に従来製品を凌駕する新材料・器械の研究・開発の努力を継続してい
くことが求められる。

2) アポトーシスについて

今回、TEGDMA によってアポトーシス誘発が認められたとするデータは、高分子
歯科材料成分の組織反応解明に対して新たな情報を提供したものといえ、今後の

データを見守る必要がある。

3) その他—骨セメント

整形外科領域における骨セメントの副作用情報については、その材料の生体への適用方法や適用量等で、同種系材料とはいえ、歯科領域とは大きく異なる。しかし、歯科医師も医療全般での材料の安全性に関わる副作用情報について十分な知識を持っておく必要性は高い。

2. 金属歯科材料

2.1 金属アレルギー

1) 従来 of 歯科用合金について

狭隘な口腔内において、強大な咬合力に対抗して長期にわたる安定した咀嚼回復を図る上から、金属歯科材料は現在にいたるまで長い間にわたって歯科修復材料の最も基本であり続け、重要な位置を占めてきた。多大な研究努力がその耐食性や成形性の向上に傾注されてきて、高品質の各種歯科用合金が歯科医療に使用され貢献している。その一方で、歯科用として使用されている種々の合金が原因とされる、いわゆる金属アレルギーに関する報告がある^{26~49)}。

歯科用合金の組成の中で、水銀、ニッケル、コバルト、クロム、スズ、パラジウム、白金、亜鉛、金、マンガン、アンチモン、インジウム、銅、モリブデンがリストアップされ、金属アレルギーへの関与が指摘されている。その後も従来から発生報告のある歯科用合金に加えて、矯正用ステンレス合金製、コバルトクロム合金製およびニッケルチタン合金製ワイヤーからのニッケル溶出が認められたとする報告がある⁵⁰⁾。口腔細菌が産生する酸による影響を想定しての研究であるが、一方で、口腔内の矯正装置上に生成されたタンパク性バイオフィームが矯正ワイヤー等の耐食性とニッケル溶出に関与しているとの指摘もある⁵¹⁾。これらの問題解決のために純チタン製のブラケット、バックルチューブ、ワイヤー、結紮線で代替する報告も認められる⁵²⁾。

2) チタンについて

地球上における豊富な資源量に加えて、歯科用としても活用できる優れた物性にも関わらず、成形上からしてその高い融解温度、高温における反応性や難加工性ゆえに長らく歯科領域における使用が実現しなかった。その後、近年の鑄造および加工技術の長足の進歩によって、ようやくに歯科用としての活用が進展して今日にいたっている。歯科以外の医療においても、心臓ペースメーカーや整形外科用医療機器における使用例がある。同時に、工業用材料として、また日用品としての用途拡大が目ざましい。耐食性に優れ生体適合性である反面、その特長に重大な問題点を投げかける指摘がある。すなわち、口腔内においてフッ素存在下でその耐食性が大きく損なわれるとの報告であり^{53~56)}、歯科修復物にとっては看

過できない現象といえる。

一方で、チタンの生体に対する影響についての報告が散見されるようになった。心臓ペースメーカー^{57~61)}、整形外科あるいは他の外科におけるチタン製スクリュー、プレートでの報告があり^{62~67)}、さらに歯科領域における修復例、メタルコア、ブリッジ、インレー、鑄造冠、インプラントでも類似の報告例がある^{68~73)}。

これまではチタンは金属アレルギー症例の際に代替金属材料と位置づけられる場合が多かった。実際に、上記のチタンによると報告されている金属アレルギー例がある一方で、他種の合金による金属アレルギー症例でチタンをその代替材料として治療に使用して好結果を得ている報告もある^{74~76)}。

2.2 内分泌攪乱作用

金属元素による生体への影響に関して、内分泌攪乱作用があるのではないかとの新たな指摘がある。カドミウム、銅、コバルト、ニッケル、鉛、水銀、スズ、クロムおよびバナジウムの塩化、硫酸あるいはナトリウム化合物が実験に供された。その影響について、カドミウムはラット子宮湿重量の増加、乳腺の成長発育促進、ホルモン調節遺伝子の誘導が認められた⁷⁷⁾。また、銅、コバルト、ニッケル、鉛、水銀、スズ、クロムおよびバナジウムは *in vitro* において MCF-7 ヒト乳ガン細胞を増殖させ、かつエストロゲンレセプターを活性化させた。また、これまでの報告をも加えて、金属化合物が内分泌攪乱作用を呈する物質になり得る可能性を示唆している⁷⁸⁾。これら金属元素の中で鉛は歯科用ではなく、また、カドミウムはもはや歯科用としては使用されていない。

歯科治療に用いた金属歯科材料が生体へ影響を及ぼすには、金属製の修復物が生体内で溶出する段階に続いて、血液を介して当該組織へ到達し、蓄積を繰り返す中で組織に影響を及ぼすにいたる各段階が必要となる。今回、報告された金属元素の中には、銅をはじめとして歯科用合金の基本的な組成が認められる。

しかし、ラットあるいは細胞を用いた今回の実験結果は直ちにヒトに当てはまるものではない。まず実験においては各金属元素の塩化、硫酸あるいはナトリウム化合物が用いられた。この方法は金属元素の影響を調べる場合に用いられることがあり、定量的な金属イオン量で実験を進めやすいとされる。しかし、その状況と口腔内に装着された金属製修復物の状況とは大きく異なる点は考慮しなければならない。次いで、歯科用合金組成の溶出性はそれぞれの合金の耐食性によって異なる。一般的に、これまでの金属歯科材料の開発の長い歴史は、この耐食性の改善に費やされてきたといえ、現在、歯科用として使用されている金属歯科材料はいずれも各種の生物学的ならびに化学的試験により要件を満たしている。しかし一方で、合金組成の溶出が認められることもこれまでの種々の報告で示されているところである。

2.3 今後の課題

金属元素については、そのかなり多くが正常な生理作用を維持するために不可欠であることが知られている。いわゆる、必須ミネラルの中でカルシウム、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、クロム、コバルト、銅、鉄、マンガン、モリブデンおよび亜鉛である。その中には金属歯科材料の組成として使用されている金属元素が散見される。これら必須ミネラルも過剰摂取により毒性発現が起こる。ミネラルの必要摂取量は、穀類、豆類、緑色葉菜類、肉、酪農製品等により確保されるが、医療用具をはじめとする生体外からの金属元素を加えた総量との関係やその影響は明らかではない。今後、アレルギーあるいは内分泌攪乱作用について引き続いて注意深く見守っていく必要がある。

1) 金属アレルギー

前記のように、金属歯科材料の歯科修復における役割は生物由来の材料が今後に応用される時代になってきても、その重要性は変わらない。しかし、その価値を損なう危険性をも有している金属アレルギーの問題は、歯科界全体で早期の解決が求められる。

(1) 従来 of 歯科用合金について

まず、従来 of 歯科用合金について、以下のような課題を解決する必要がある。

a. 口腔内における歯科用合金の溶出挙動に関するデータ究明

各種の歯科用合金からの組成金属の溶出は、金属アレルギーの発症の原点と考えられることから、この点に関する種々な場合における研究データが不可欠である。そのデータは金属アレルギーの発症機構の解明に資することにもなるし、診療現場においては金属歯科材料の選択に役立つこととなる。

b. 製品への合金組成に関する詳細表示の必要性

現在は主な組成金属の表示に留まっている。しかし、これまでにみられる報告を通覧すると、極微量金属の存在も原因となり得るとされている。このような点を勘案すると、現在行われている歯科用合金の製品表示は十分とは言い切れない。100%の組成について正確に表すことは、科学的にも、技術的にも、あるいは製品価格の上からも困難を伴うとはいえ、可及的に詳細な表示を検討していく必要がある。

c. 代替材料の開発の必要性

①代替金属歯科材料の開発

口腔内の環境は、金属歯科材料の長期にわたる安定性を維持する上からはきわめて苛酷な状況である。これまでに開発されてきた種々の金属歯科材料はいずれもその耐食性を向上させることに多くの研究努力が注ぎ込まれてきた経緯がある。現在、歯科医療現場で使用されている歯科用合金は、いずれも長年にわたる厳しい評価を受けてきた結果での今日の姿ではあるが、更なる改良に向けての開発努力

が求められる。

②代替非金属歯科材料の開発

診療現場における材料選択の場面において、金属アレルギーを含む諸般の事情から金属歯科材料の選択が困難な場合もある。その際には、類似の性能を有する代替材料が必要となる。この面からの材料開発の努力が必要となる。

d. 金属アレルギーに関する診査・診断方法の確立

歯科臨床において、金属アレルギー症例報告がなされている現状からして、その病態に関する多方面からの研究が必要である。その成果として正確な診査・診断方法の出現となることが期待される。当然のことに、その判定基準やパッチテスト用のアレルゲンの確定も同時にあるのが望ましい。このことによって、診療現場での効果的な対処法へとつながっていくこととなる。

(2) チタンについて

チタンについては、今後、金属歯科材料として種々の用途に使用される機会が増してくるのは確実であろうが、まだ未知の部分の多いチタンとアレルギー性に関して引き続いて慎重に見極めていく必要がある。前段に示したアレルギー性の報告を見る限り、これまでは他の合金の代替用としての役割を担ってきた面もあるものの、もはや過信できない段階にあるといえ、その使用に当たっては慎重な対応が必要である。純チタンあるいはチタン合金の使用の場合に、確認しなければならない点は以下のとおりである。

a. チタン中に混入する元素の確認とその影響

一般的に、原料鉱石から精錬過程を経て目的の金属材料にいたる段階で100%の純度を得ることはなく、自然界で共存していた元素がごく微量に残留することとなる。その量が実用上からして許容できる範囲内であれば、製造コストの観点からして通常はそれ以上の精錬操作を行わずに使用現場へ回される。当然のことに、微量とはいえ残留する元素の影響が考えられる。チタンのアレルギー性の報告の中で、その点を指摘している報告がある^{61,79)}。チタンのアレルギー性の究明には、この点に関する確認とその影響とを明らかにする必要がある。

b. チタンのアレルギー性を検査する方法の確立

チタンのアレルギー性に関して報告される場合に、しばしば指摘される点に信頼性の高いチタン検査法の必要性があげられる。これまでは酸化チタン、硫酸第一チタン、硫酸第二チタン、チタン粉末やチタン板が精製水やワセリンと共に、あるいはそのままパッチテストに使用されてきた。しかし、その際の化学物質の濃度は一定ではないこともあり、パッチに対する反応は一様でなかったり、時には刺激反応を呈したりして、決して安定したチタンのアレルギー性に対する評価が得られているとは考えられない側面があった。信頼性の高い検査法は原因物質の鑑別に有用であり、その後の治療方針の決定に不可欠であるだけにこの方面の研究

が急がれる。

c. 臨床現場における対応

チタンを使用するに当たって、数項目のチェックが提案されている。

①既往のチェック

金属アレルギーの既往がある患者の場合には、チタンインプラント使用について慎重に行う必要がある。また、他の医療で体内にチタン製の医療機器が装着されている場合、あるいは過去にある一定期間にわたり装着があった場合にも同様の注意が要るとの指摘である⁷²⁾。

②免疫・血液生化学的チェック

チタンインプラント手術前に、パッチテストとともに Ig 検査や血液生化学検査を実施して患者の健康状態を調べるとともに、術後に再度同じ検査で術前データと比較して経過をチェックする点の意義についての指摘がある^{69, 71)}。

③チタンインプラント装着後のチェック

インプラント埋入後に非感染性の粘膜あるいは皮膚症状が現れた場合は、金属アレルギーを疑い、しかるべき対応が必要であるとの指摘もある⁷²⁾。

2) 内分泌攪乱作用

高分子歯科材料を構成する組成関連物質が内分泌攪乱作用を疑われている点に比較して、金属元素の関与に関する指摘は数少ない。今後、この点に関しても研究の進展が待たれる。

3. アマルガム

3.1 水銀のリリース

アマルガム修復物からの水銀蒸気が咀嚼に大きく依存することが動物実験から明らかとなった⁸⁰⁾。アマルガム用合金に Pd を少量添加すると、硬化中の水銀蒸発が市販高銅型合金よりも 50~60%減少する⁸¹⁾。歯の漂白剤として使用されている過酸化尿素、過酸化水素は水銀の溶出を増大する^{82,83)}。バイオフィームと過酸化尿素の関係を調べた報告では、バイオフィームが水銀溶出の遅延に寄与することが示されている⁸⁴⁾。また、漂白処理前、アマルガム修復物表面にコーパライトを塗布すると、水銀の溶出は未処理の 1/90 まで減少する⁸⁵⁾。動物実験から、窩洞をレジン・モディファイドグラスアイオノマーセメントで裏層すると、歯髄中水銀量は未処理の 1/4~1/8 まで減少する⁸⁶⁾。

3.2 アマルガム修復と体液、器官、臓器中水銀量について

1) 尿中水銀量

職業性曝露がない場合、尿中水銀量はアマルガム修復により増加し、修復物の数、面数および面積に影響を受けるが、年齢、性別、地域（カナダ⁸⁷⁾、ドイツ^{88,89)}、アメリカ⁹⁰⁾、イタリア⁹¹⁾、エジプト⁹²⁾）の違いにかかわらず、その平均は $2 \mu \text{g}/1$

以下であり、被験者のほとんどは WHO(世界保健機関)が見積もった参照値(正常値)の $4\sim 5\mu\text{g}/\text{l}$ 以下であった⁹³⁾。被験者が幼児の場合、尿中水銀量と年齢、身長、体重の間で負の相関を認め、尿中水銀量は魚の摂取量にも影響されるが⁸⁷⁾、年齢および喫煙の影響については幼児の報告を含め、定かではない^{87,91,92,94)}。職業性曝露の危険性が高い歯科医師の場合、尿中水銀量は対照群の4倍以上であるが、ほとんど全ての歯科医師は健康安全局の規定値以下であった。さらに、歯科医師の水銀量は診療時間、1週間当たりの修復・除去の回数、歯科医師自身のアマルガム修復物の面数と相関を認めた^{95,96)}。被験者が歯科医師20名の報告では対照群の約3倍であったが、歯科医師自身のアマルガム修復は尿中水銀量に寄与しない⁹⁴⁾。歯科医師のアルコール摂取と低レベル職業性水銀曝露の関係を尿中水銀量から調べた報告では、禁酒家の尿中水銀量は、飲酒家よりも有意に高い値を示した⁹⁷⁾。

2) 血液中水銀量(全血、血清、臍帯血、胎盤)

職業性曝露がない場合、全血中水銀量はアマルガム修復の数に依存し^{92,98)}、魚の摂取とその頻度に依存するが⁹⁸⁾、性差および喫煙の影響は認められない⁹²⁾。被験者が青年期の場合、血清中総水銀は全血中の2/5程度であったが、修復物の数と魚消費量の影響を受けていた⁹⁹⁾。被験者が2年間あるいはそれ以上、魚を摂取していない場合、血液中無機水銀量と修復物数の間で有意性を認めているが、性差および年齢の影響はみられない¹⁰⁰⁾。性差の違いによる影響は不明であるが、魚を多く摂取する女性では、修復物数の増加とともに血液中無機水銀量の増大が確認されている¹⁰¹⁾。胎盤、母体血、臍帯血中の無機水銀の報告では、胎盤の無機水銀量は母体血、臍帯血の4倍以上であり、修復物の数と高い相関を認めている¹⁰²⁾。臍帯血中の無機水銀の報告では、修復物の数と有意な相関が認められている¹⁰³⁾。

3) 毛髪中水銀量

職業性曝露がない場合、アマルガム修復による増加は認められない⁹²⁾。母親および新生児の毛髪中水銀とアマルガムとの関連性について調べた報告によると、母親と新生児の毛髪中水銀量は、妊娠前あるいは妊娠中のアマルガム修復物の影響を受けるが、アマルガム修復物を有する妊婦への妊娠初期におけるアマルガム修復物の追加は、新生児の毛髪中水銀量に影響しない¹⁰⁴⁾。歯科医師の調査では同数の一般人よりも有意に高い値を示したが⁹⁶⁾、診療時間、1週間当たりの修復・除去の回数との関連性については不明である⁹⁵⁾。

4) 唾液中水銀量

被験者が小児の報告では、唾液中水銀量はきわめて少なく、低水銀曝露の場合、唾液は小児への水銀曝露を評価するための生物学的モニタリングの素材としては適当ではないと結論付けている⁸⁸⁾。

5) 爪中水銀量

職業性曝露がない場合、アマルガム修復による増加は見られず、性差および喫

煙の影響も認められない⁹²⁾。歯科医師の調査では、同数の一般人よりも有意に高い値を示したが⁹⁶⁾、診療時間、1週間当たりの修復・除去の回数との関連性については不明である⁹⁵⁾。また、歯科医療従事者と医療関係従事者を比較した調査では、一般歯科医は専門歯科医よりも60%高く、医療関係従事者の2倍以上であるが、修復物の数と爪中水銀量の相関は3者とも認めていない。さらに、アマルガム修復・除去の操作回数が爪中水銀量に及ぼす影響について、修復回数が1週当たり100回以上では、100回以下の約2倍の値を示している。また、アマルガム除去による爪中水銀量の変化は1週当たり30回以下と30回以上でもみられない¹⁰⁵⁾。

6) 羊水中水銀量

職業性曝露がない場合、羊水中水銀量はアマルガム修復物の数および面積に依存するが、有意性は認められなかった。さらに、羊水中に検出された水銀濃度は低く、妊娠中そして新生児への影響は認められなかった¹⁰⁶⁾。

7) 母乳中水銀量

職業性曝露がない場合、アマルガム修復により母乳中水銀量が増加する¹⁰⁷⁾。また、母乳中水銀量はアマルガム修復の面数と有意な相関を示す¹⁰⁸⁾。

3.3 アマルガム修復と水銀アレルギー

アマルガム修復物除去後の口腔苔癬病巣の治癒について総説がある。1,158名の患者を対象とした、1982年から1999年までの14のコホート研究と5つの症例対照研究について検討された。パッチテストにおいて、少なくとも一つの水銀化合物に対して陽性反応を示した患者の割合は報告間で異なり、その範囲は16%から91%となっている。1,158名の患者中、636名が他の材料に置き換えており、経過観察は2カ月から9年半にわたっている。完全治癒率の範囲は37.5%~100%であり、著明な改善はアマルガム修復物と接触している病巣にみられた¹⁰⁹⁾。治癒率に関して、アマルガム修復物の除去により6週間以内に完治したとの報告¹¹⁰⁾、患者の93%は改善を認めたが、アマルガム修復物との関連性が明確ではない患者では有意に低い改善率であった¹¹¹⁾。また、患者の97.1%が除去により病状の改善を認めたが、アマルガムあるいは水銀のパッチテストに対する陽性率は28%と低く、皮膚にも扁平苔癬を有する患者に対するアマルガム修復物の除去効果は、皮膚に扁平苔癬を持たない患者よりも低く、アマルガムの存在と口腔苔癬反応との間に何らかの関連性があると述べている¹¹²⁾。このことに関して、水銀に感受ならびに非感受性ラットの粘膜にアマルガムあるいはアマルガム用合金を接触させると、病巣は種、合金、感受性、パッチテスト反応とは関係なく、アマルガム修復物あるいはアマルガム用合金との接触が病巣の進行に関与する¹¹³⁾。一方、水銀化合物に陽性反応を示した症例のほとんどは、アマルガム修復物の除去により有効な改善を認めた¹¹⁴⁾。

3.4 アマルガム修復と健康影響

1) 健康障害

職業性曝露がない場合、健康障害を訴える人々の血液成分および尿中水銀量は正常レベルであり、水銀中毒症状あるいは有意な水銀の取り込みも認められないことから、アマルガム修復物からリリースする水銀がアマルガム疾患の原因であるという仮説は支持されず、患者に対する処置はアレルギーおよび心理学的要因に焦点を絞るべきであるとの報告がある^{115,116,117}。歯科用アマルガムの健康に及ぼす影響について行なわれたコホート研究の報告では、アマルガム修復と腎疾患および慢性疲労感との関連性はなかった。また、多発性硬化症との関連性についてはさらなる研究が必要であり、アルツハイマーあるいはウイルソン病に関しては症例不足であった¹¹⁸。また、腎毒性について調べた報告では、アマルガム修復を有する実験群の尿、血液中水銀レベルはアマルガム修復のない対照群よりも有意に高く、アマルガム修復物の数と相関を認めた。実験群のNAG、 γ -GTとアルブミンの尿中排泄量は対照群よりも有意に高く、NAG およびアルブミンの尿中排泄量はアマルガム修復物の数とも有意な相関を認めた。蛋白尿は血液および尿中水銀レベルと有意な相関を認めた。腎毒性の観点からみると、歯科用アマルガムは水銀毒性を高める可能性があり充填材料としては不適當である¹¹⁹。妊娠中のアマルガム修復と低出生体重との関連性について調べた報告では、低出生体重の危険性を増大する根拠は見つからなかった¹²⁰。自閉症の子供達の初散髪から得られた毛髪中水銀濃度と母親のアマルガム修復物、抗Dヒト免疫グロブリン注射、魚摂取量および幼年期のワクチンとの関連性について調べた報告によると、自閉症患者の毛髪中水銀濃度は健常者よりも有意に低い値であった。自閉症群の毛髪中水銀濃度が低いにもかかわらず、妊娠期間中の抗Dヒト免疫グロブリン注射の回数は健常者群よりも有意に低く、注射の接種率は自閉症群では46%、健常者群では9%であった。妊娠期間中のアマルガム修復物の数は自閉症群では平均8.35、健常者群では平均6.60と両者間に有意な差異を認めた。自閉症群では34%の母親が10歯以上のアマルガム修復物を有するが、健常者群ではその割合は18%であった。平均毛髪中水銀濃度は重症な患者ほど低かった。健常者群の毛髪中水銀濃度は母親のアマルガム修復物の数、魚摂取量と幼年期のワクチンによる水銀曝露との間に有意な相関が認められるが、この相関は自閉症群では欠如していた。これらのことから、自閉症群は少なくとも健常者群と同程度の水銀曝露を受けたにもかかわらず、毛髪中水銀濃度に低下を認めたことは、解毒機能が健常者よりも劣るためであり、水銀排泄が毛髪中水銀濃度と関連性を有するならば、自閉症群の脳を含む組織中の水銀濃度は健常者群よりも有意に高いであろうと述べている¹²¹。職業性曝露と冠動脈性心疾患の相関については明らかではないが、魚の消費量と疾患の間には弱い相関を認めている¹²²。

2) 精神神経機能障害

職業性曝露がない場合、アマルガム修復物を有する被験者の尿中水銀量は職業性曝露者、歯科医療従事者よりも低く、認識機能の障害との関連性もないことから、アマルガム修復処置が認識および精巧な運動機能などの神経精神能力に影響を与えることはない結論付けている¹²³⁾。ベトナム戦争でダイオキシンの曝露を受けた退役軍人について調べた報告¹²⁴⁾では、アマルガム修復と神経学的徴候あるいは臨床的に明らかな末梢神経障害との関連性は認められず、アマルガム修復が臨床的に明らかな神経学的有害性を引き起こすという仮説を支持するものではなかった。被験者が歯科医師の場合、歯科医の腎疾患と記憶障害は対照群によりも有意に高い割合を示したが、尿中水銀量との相関は認められなかった。性別と年齢を調整した場合、歯科医師と対照群間で精神運動機能に違いが認められたが、精神運動機能反応の変化と尿、毛髪および爪中水銀量との間には有意な相関は認められなかった。健康および知覚機能において歯科医師と対照群間で2, 3の違いが見られた。これらの違いは、歯科医師に対する水銀曝露が直接的な原因ではないと考えられるが、高レベルでの水銀曝露は似たような健康障害の原因となることが知られており、関連性の否定は出来ないと著者らは述べている¹²⁵⁾。アマルガムの神経毒性について調べた *in vitro* の報告では、亜鉛のリリースが神経細胞に対して有毒であることが示唆されたが、体内の亜鉛レベルは調節されているため、亜鉛の摂取は大きな問題とはならない¹²⁶⁾。

3.5 環境への影響

アマルガム修復による環境汚染について、排水および大気中水銀を測定した報告は国内でみられない。排水中の水銀はアマルガム修復の行為回数と関連するが、日本におけるアマルガムの使用はきわめて少なく、水環境への汚染は減少していると考えられる。排水中の水銀に関して、アマルガムセパレーターの性能、コストなどをまとめた報告が米国にみられる¹²⁷⁾。また、チェアサイドの排水タンクと保管用排水タンク中に ppb レベルのメチル水銀を検出し、海水、雨、湖水中の1,000倍との報告があり、水銀除去システムは有機水銀の生成をできるだけ少なくするように作るべきであると結論付けている¹²⁸⁾。この報告は1987年当時の米国におけるアマルガム修復の実態を示しており、成形歯冠修復用材料としてアマルガムが多用されていることが窺える。このことに関して、日本におけるアマルガム修復の行為回数は、1987年度では診療件数100件当たり12.8回であるが、2002年では約1回まで減少しており¹²⁹⁾、アマルガム修復・除去操作における水銀曝露の危険性はきわめて低いと考えられる。

3.6 その他

アマルガム修復物と血漿の抗酸化力についてについて検討した報告では、血漿の抗酸化力は血漿中水銀量と負の相関を認め、アマルガムからリリースする水銀

による酸化促進作用が示唆された。また、血漿の抗酸化力に対する魚の摂取量および喫煙の影響は認められない¹³⁰⁾。アマルガム修復物との関連性はないが、2000～2004年に日本の14地域における毛髪中水銀濃度(9,093検体)を測定した報告がある^{131,132)}。男性の幾何平均は2.47 ppm、女性では1.65 ppmであった。毛髪水銀濃度には性差があり、思春期以降で顕著である。体重当たりの魚食量には性差はみられないが非常に小さく、水銀の毛髪への移行に性ホルモンが寄与している可能性が指摘される。毛髪水銀濃度は幼児期から20歳代にかけて徐々に低下し、その後は上昇するが、高齢期には再度減少する。これは魚摂取量の年齢変化とほぼ一致している。魚介類の摂取頻度および総摂取量は毛髪水銀と密接に関連する。魚種の中ではマグロとカツオの摂取が毛髪水銀と比較的強い相関がみられる。毛髪水銀濃度は関東地域で高く西日本地域では低い。これは関東地域でのマグロの多食が毛髪水銀の上昇に寄与しているものと考えられる。

3.7 今後の課題

1) 水銀のリリース

アマルガム修復物から水銀が蒸気、イオンとしてリリースする。無機水銀イオンの消化管吸収は数%であるが、水銀蒸気は肺胞から約80%が吸収され、血流中に取り込まれる。そのため、アマルガム修復物から発生する水銀蒸気が、一般の人々への主たる無機水銀曝露となる。アマルガム修復による1日当たりの推定水銀摂取量は3～17 μ gであり、食物から摂取する無機水銀化合物、メチル水銀よりも多い(WHO, 1991)。水銀蒸気のリリースを減少させる手段として、アマルガム用合金へのPd添加が有用との*in vitro*の報告がなされており、この効果について*in vivo*での研究が必要と考える。

生体に取り込まれた水銀化学形態の代謝変換が体内で起こりえることが知られており、金属水銀の2価無機水銀への酸化、2価無機水銀の金属水銀への還元、無機水銀のメチル化、メチル水銀の2価無機水銀への変換である。アマルガム修復に使用される水銀は無機水銀であるが、体液、器官および臓器に取り込まれた水銀の有機化の可能性も否定できない。このことに関して、アマルガム修復による唾液、血液中の有機水銀レベルの変動を調べた実験では相反する結果が報告されており、有機化については定かではなく、このことに関する詳細な研究が必要と考える。

2) アマルガム修復と体液、器官、臓器中水銀量について

職業性曝露がない場合、アマルガム修復による水銀の生体曝露レベルの指標として体液、器官および臓器中水銀濃度について検討がなされており、アマルガム修復による水銀濃度の上昇が報告されているが、その有意性については体液間で異なっている。報告の多くは尿に関するものであるが、尿中水銀濃度はWHOの見積もった参照値以下である。ヒトの実験に関して、WHOはアマルガム修復物から

推定される水銀の取り込みと実測された水銀の蓄積量にはかなりの個体差を示すために、アマルガム修復物からの水銀と人体への取り込みを正確に定量的に推定することは不可能であると述べ、ヒトの実験からアマルガム修復物からリリースする水銀の生体内挙動を評価することはきわめて困難であると述べている (WHO, 1991)。アマルガム修復による水銀の生体内分布と濃度を明確に把握するためには、現時点において混乱因子の少ない動物実験が考えられる。実験動物にはヒトと近似する歯および咀嚼機能を有するサルが望ましいと考えられるが、実験を行う際の品質管理が不可欠である。

3) アマルガム修復と健康影響

アマルガム修復による健康障害を訴える人々の血液成分および尿中水銀量は正常レベルであり、アマルガム修復物からリリースする水銀が健康障害の原因である可能性はきわめて低い。米国の食品医薬品局と公衆衛生局は歯科用アマルガムの安全性についての調査を継続して行っているが、稀なアレルギー疾患を除いて、アマルガム修復により患者に害を及ぼす確かな科学的根拠は示されていないとの見解を述べている¹³³⁾。このことに関して、2004 年末にライフサイエンスリサーチオフィス (LSRO) より「歯科用アマルガムの有害影響についての文献解析報告書」が発表された¹³⁴⁾。この報告書は LSRO が 1996 年 1 月から 2003 年 12 月までの学術文献を精査し、950 件の研究から 300 件の条件を満たす研究を評価した結果、歯科用アマルガムと腎あるいは認識機能障害、アルツハイマー病、パーキンソン病、自己免疫疾患、多発性硬化症との関連性を支持する科学的根拠は不十分であり、アマルガムによる健康影響は、希なアレルギー事例を除けばほとんど存在しないと述べている。さらに、国連環境計画、国際労働機関および世界保健機関の共同事業である“化学物質の安全性に関する国際プログラム (IPCS)”の報告書では、アマルガム修復による金属水銀蒸気曝露、水銀の化学形態変換の可能性について論評されず、アマルガムが健康障害の原因となるか否かについても結論に達していない¹³⁵⁾。

アマルガム修復による全身的疾患および神経機能との関連性については未だ不明な点が多く、低濃度の長期間の水銀蒸気曝露による生殖器や胎児への影響については、ほとんど研究がなされていない。今後、低濃度曝露による水銀の胎児・新生児のような高感受性集団に対する神経・行動毒性学的な影響を調べていく必要がある。さらに、アマルガム修復物から遊離する水銀蒸気の生体曝露による発現遺伝子の解析も興味深い。これに関する研究は 2003 年、実験動物としてラットを用い、水銀蒸気曝露による肺のゲノム解析が、米国で報告されているが¹³⁶⁾、アマルガムに関する報告は国内外とも見当たらない。

4) まとめ

アマルガムの使用の可否に対する各国の対応は異なり、その使用について制限

あるいは限定している国も一部にみられるが、全面的に使用を禁止している国はない。アマルガムの使用頻度は日本を含めて減少しており、アマルガムの安全性を主張している米国でも例外ではない。その理由として小児歯科専門医による歯質接着性レジンの使用を挙げている。また、その他の理由としてはシーラント処置の増大、水道水のフッ化物添加、フッ化物を含む材料選択の拡大、口腔清掃の改善などを挙げている。修復材料の選択について、2001年、欧州32カ国の歯科大学200校の小児歯科あるいは保存修復学講座を対象に、第1大臼歯への修復材料の選択について調査した報告（27カ国、90校から回答）によると¹³⁷⁾、東欧では1番目の選択肢としてアマルガムが挙げられているが、他の国々ではコンポマー、レジン強化ガラスイオノマーセメントであった。また、アマルガムの使用は多くの地域で一般的ではないにもかかわらず、その教育がなされている。

アマルガムの代替材料として水銀を含まないガリウム合金が開発され、臨床にも使用されているが、3年間の経過観察を行った結果、ガリウム合金の耐久性および耐食性は高銅型アマルガムよりも劣ることが報告されている¹³⁸⁾。歯科用アマルガムは操作性が簡便で、比較的優れた機械的性質を有する材料であるが、使用頻度の減少あるいは教育内容の変化とともに、歯科医療から徐々に消滅する材料と考えられるが、歯科用アマルガムの将来は歯科医師の判断に委ねられている。

4. セラミック材料ーアスベスト

4.1 アスベスト問題の経緯

平成17年6月、大手機械メーカーが昭和53年度から平成16年度までの間に、アスベストが原因と思われる中皮腫や肺がんなどで死亡した社員、元社員や関係会社社員が79名に上ると公表し、補償金を支払ったことを明らかにした。さらにこの会社の近隣住民にも健康被害が発生して、中皮腫患者が3名あり、見舞金を支払った。この報道をきっかけとして、その後に同種メーカー、建設メーカー、造船メーカー等で主に社員に健康被害の発生を報告する事例が相次ぎ、大きな社会問題となった。アスベストに関わる事柄が次々と明らかになっていくにつれて、この物質が我々の生活全般のいたる所で使用されてきたことが判明することとなった。しかもアスベスト問題が決して新しいことではなく、長らくその危険性が指摘されてきたことも改めて知られるにいたった¹³⁹⁾。

1) 工業用材料としての用途

アスベストは、天然に産する繊維状のケイ酸マグネシウム塩鉱物で石綿ともいわれる。その特性は、軽量で繊維状構造、耐熱性、防熱性、電気絶縁性、耐磨耗性、可撓性、耐薬品性であり、しかも価格が安価であるゆえに、工業用ばかりか我々の日常生活用品に広く使用されてきた。主たる用途は建材製品とされる。その種類は、青石綿(クロシドライト)、茶石綿(アモサイト)および白石綿(クリソタ

イル)、アンソフィライト、トレモライト、アクチノライトであるが、工業用としては、主に前3物質が使用されてきている。

2) 使用規制の流れ

このように工業用材料として優れた特性を有する鉱物であったが、その構造に起因した人体への影響が昭和35年頃から指摘されるようになってきた。そして徐々に研究が進むにつれて、職業上でアスベストを大量に吸引すると呼吸器疾患が発生する危険性があるとの研究結果が出された。昭和46年、我が国では「特定化学物質等障害予防規則」(労働省)が制定され、アスベストを含む危険な化学物質の取り扱いが規制されることとなった。昭和47年にはWHOとILOが、昭和49年には米国産業衛生専門家会議がそれぞれアスベストの発がん性を指摘している。昭和50年には我が国においてアスベストの吹き付け作業が原則禁止とされた。昭和61年にはILOが青石綿を、昭和64年にはWHOが青石綿と茶石綿をそれぞれ使用禁止とした。平成5年にはEUが青石綿と茶石綿を使用禁止としたのに続いて、我が国では平成7年から製造・使用が禁止となった。平成16年、我が国ではアスベスト使用の原則禁止となり、平成17年、EUでアスベストの使用禁止となった¹⁴⁰⁾。

4.2 アスベストの人体への害作用

アスベストによって生じる健康被害は呼吸器系臓器に発症し、曝露から発病までの潜伏期間がきわめて長いのが特徴である。大別して以下の3疾患がある¹⁴¹⁾。

○石綿(アスベスト)肺

肺線維症で、潜伏期間が15~20年と長い。

○肺がん

潜伏期間は15~40年と長い。

○悪性中皮腫

潜伏期間は20~50年とさらに長い。

Murray(1907)が剖検例から最初に石綿肺について報告して以来¹⁴²⁾、アスベストの健康被害についての報告がみられる^{143~148)}。すでに空気中の粉塵と肺をはじめとする呼吸器系への健康影響に関するデータでは、アスベストの生体への影響はきわめて注意が必要であることが指摘されている¹⁴⁹⁾。ラット、モルモットやハムスターを用いての動物実験によってアスベストの組織への影響を調べた報告も多くみられる^{150~157)}。

我が国での歯科医療におけるアスベストによる疾患として報告されている例は、歯科技工士での中皮腫発症の2例が認められる^{158~159)}。

4.3 歯科医療におけるアスベスト使用

歯科成形上ならびに歯科治療上でアスベストの特性を活用すべく、以下のような過去の使用例があった。

- 1) 歯科成形材料
 - 鋳造用緩衝材、アスベストリボン
 - アスベストブロック
 - アスベスト板、アスベスト繊維、アスベスト粉
- 2) 技工用設備・備品
 - 鋳造機－鋳造部壁面
 - リングファーンレス用リバーナ
 - 技工機、実習機の天板
- 3) 歯科治療材料
 - 歯周包填剤
 - 歯髄失活剤
- 4) 消毒・滅菌器
 - 電気消毒器－点火部分の断熱材、ヒーター部分のワッシャー
 - 高圧蒸気滅菌器－アスベスト含有ガスケット
 - 乾熱滅菌器－断熱材
- 5) 診療チェアー・ユニット等
 - 照明装置－断熱板
 - ユニット－止水栓ガスケット

4.4 歯科医療における現状について

上記にあげたように過去にみられた歯科医療におけるアスベスト使用については、これほどまでに社会問題となっている点に鑑み、現状はどうなっているのかについて解明することは、歯科界はもとより、国民の歯科医療を担っている立場からしても重要な事柄である。

アスベストの耐熱性を始めとする特性は、歯科医療において器材の性能を維持する上からも有用であったことは上記にあげた使用例からも推察できる。ここにあげた例は、歯科器材の大手販売業者が行った調査(平成17年7月～9月)に基づいていて、その内容は過去の実態を一応反映していると考えられる。その結果からは、電気消毒器製品の点火部分の断熱材ならびに歯髄失活剤における2使用例以外では、すでに脱アスベスト化が進んでいる実態が見てとれる。

4.5 今後の課題

今後、歯科界としてこのアスベスト問題についてどのように対処していけばよいのであろうか。

1) 過去の製造・使用実態についての調査

上記にあげた過去の使用例データは、その概要を把握する上からは一定の役割があろう。しかし一方で、今回のアスベストに関わる事柄が社会問題となって以来、工業用品、日常生活用品あるいは施設・設備等における使用実態は我々の想

像を超えるレベルの広がりや数にあるといえる。したがって、歯科医療における使用実態についても権威ある機関、たとえば日本歯科医師会あるいは日本歯科医学会が、その所掌の責任において、材料器械製造・販売業者に対して過去に遡って製造・販売の実態調査を要請する必要があるといえる。

2) それらについての現状調査の必要性

前記 1) についての調査と共に、現状調査も不可欠である。世界的に脱アスベストの流れの中で、今回の大きな社会問題を契機に徹底したデータの整備が求められる。これまでの使用例データからは、歯科医療現場の問題のみにとどまらず、歯学教育に関わる問題をも包含している。これら調査結果に基づいて次のステップが必要となる。すなわち、歯科器材の廃棄処分について統一的な方法の提示が求められる。これまでに判明している状況からしても、多くの歯科医療ならびに歯学教育の場にアスベスト製品が残存している可能性が考えられる。

3) 調査結果に関する情報開示の必要性

上記データを歯科界のみならず、広く社会へも情報開示して情報を共有することが肝要である。

4) 健康影響に関する調査の必要性

歯科医療従事者、また歯学教育担当者の中には、過去の使用例について健康影響に対する不安・疑問をいただいている場合が考えられる。それに対して応える上からも調査の必要性が高い。すでに行政から対応について当面の方針が示されている^{160~161)}。

5) 歯科器材からの脱アスベスト化推進について

すでにアスベストの人体への害作用が明らかになった以上、早期に歯科医療現場からの脱アスベスト化について日本歯科医師会が強いリーダーシップで推進していく必要がある。

6) アスベスト代替品の安全性について

今回のアスベスト問題から、国をあげてのアスベスト代替化が加速されている。歯科医療においてもすでにその流れにある。アスベスト代替化が図られている中で、歯科鑄造法に必要な鑄造リング緩衝材のセラミックリボンがすでに代替品として使われ始めて久しい。工業分野でロックウール等の名称で使用されている材料である。従来からのグラスウールを含めたこれら合成材料は、アスベストに似て微細繊維からなっているが、一方でこれら物質の生物学的安全性、とくに線維発がんの観点からの指摘も出されている^{162~163)}。現時点ではその評価は未だ定まっておらず、WHO も情報収集中のようである¹⁶⁴⁾。

5. 生物由来の医薬品および医療機器

5.1 新たな治療オプション

平成 15 年の報告以降、生物由来の医薬品および医療機器について改正薬事法（平成 15 年 7 月 30 日施行）の中にその安全性確保対策が規定されることとなった¹⁶⁵⁾。その対策は、製品の特性に応じて生物由来製品と特定生物由来製品との二段構えとなっている。前者はヒトその他生物(植物を除く)に由来するものを原材料として製造される医薬品、医療機器等のうち、保健衛生上特別の注意を要するものとしている。その例として血液製剤、ワクチン、抗毒素、遺伝子組み換え製剤等があり、後者は生物由来製品の中でも特に、感染症発生のリスクが高いものとし、輸血用血液製剤、ヒト血漿分画製剤等を提示している。とくに特定生物由来製品については、①患者への十分な説明責任、②管理簿の 20 年間にわたる保存、③感染症が生じた場合に製造業者等への対象患者情報の提供、の 3 点が義務付けられている。

今回の枠組みで特徴的な点は、生物由来製品により発生した感染等の健康被害に対する救済制度である。これら業務を担うのは、平成 16 年 4 月にスタートした独立行政法人医薬品医療機器総合機構で、健康被害救済業務、審査関連業務・安全対策業務及び研究開発振興業務の一環として進められる¹⁶⁶⁾。すなわち、適正な目的で適正に使用されたにも関わらず生じた健康被害について、民事責任とは切り離し、製造業者等からの基金拠出等でまかなわれ、事業はその社会的責任に基づく共同責任として行われる。

5.2 今後の課題

歯科界では長年にわたり歯科生体材料として非生物由来の化学物質が主に使用されてきており、それらを症例ごとに優れた精度の修復物に仕上げる成形法は、すでに完成度の高いレベルに達している。しかし同時に、その限界についても明らかになってきていた。一方で近年、生命科学の長足の進歩によって生物由来の材料を医療の目的に使用する可能性が高まってきた。しばしば取り上げられることの多い再生医療である。このような情勢下で、これまでに歯科界が築き上げてきた、従来の歯科生体材料の使用技術は今後とも確かな治療手段として継続していくことは間違いないと考えられるものの、合成材料とは対極の生物由来の材料が新たな治療オプションとしてへの期待は大きい。

今回の法律改正での大きな特長は、新規材料の使用に関わる取り扱いについてである。必要な基礎的調査の結果から治療上の有効性が高く、しかも他に有効な治療法がない場合に、患者への十分な説明と患者自身の自己決定によって、その材料を治療に使用できる道を開くものといえる。しかもそこから生じるかもしれない副作用に対しても救済制度を設けて対応できる枠組みとなっている。これはこれまでにはなかった方向で、現在の世界的な流れでもあり社会的要請でもある

点が反映されているといえる。

今後、組織適合性や未知の感染症等の課題を解決しつつ、早い実用化が図られることが求められる。

参考文献ならびに参考資料

- 1) 八木澤潤子、筒井健機：ビスフェノール A によるマウス骨髄由来破骨細胞前駆細胞の破骨細胞への分化の抑制。口腔組織培養会誌、12:15-26、2004.
- 2) Masuda S, Terashima Y, Sano A, Kuruto R, Sugiyama Y, Shimoi K, Tanji K, Yoshioka H, Terao Y, Kinoshita N: Changes in the mutagenic and estrogenic activities of bisphenol A upon treatment with nitrite. *Mutat Res*, 585:137-146, 2005.
- 3) Markey CM, Wadia PR, Rubin BS, Sonnenschein C, Soto AM: Long-term effects of fetal exposure to low doses of the xenoestrogen bisphenol-A in the female mouse genital tract. *Biol Reprod*, 72:1344-1351, 2005.
- 4) MacLusky NJ, Hajszan T, Leranth C: The environmental estrogen bisphenol A inhibits estradiol-induced hippocampal synaptogenesis. *Environ Health Perspect*, 113:675-679, 2005.
- 5) Wada H, Tarumi H, Imazato S, Narimatsu M, Ebisu S: *In vitro* estrogenicity of resin composites. *J Dent Res*, 83:222-226, 2004.
- 6) Al-Hiyasat AS, Darmani H, Elbetieha AM: Effects of resin based dental composites on fertility of male mice. *Eur J Oral Sci*, 110:44-47, 2002.
- 7) Al-Hiyasat AS, Darmani H, Elbetieha AM: Leached components from dental composites and their effects on fertility of female mice. *Euro J Oral Sci*, 112:267-272, 2004.
- 8) Takahashi A, Higashino F, Aoyagi M, Kyo S, Nakata T, Noda M, Shindoh M, Kohgo T, Sano H: Bisphenol A from dental polycarbonate crown upregulates the expression of hTERT. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater*, 71B:214-221, 2004.
- 9) 本郷敏雄、日景 盛、佐藤温重：レジン系仮封材からのフタル酸エステル類の溶出、第 6 回日本内分泌攪乱化学物質学会研究発表会要旨集、2003 年 12 月 2、3 日、仙台、p. 99.
- 10) 本郷敏雄、日景 盛、佐藤温重：レジン系仮封材からのフタル酸エステル類の溶出。第 43 回日本歯科理工学会学術講演会、2004 年 4 月 10、11 日、千葉、歯材器、23:166、2004.

- 11) 本郷敏雄、日景 盛、佐藤温重：レジン系仮封材から食品へのフタル酸ジブチルの移行について. 第 44 回日本歯科理工学会学術講演会、2004 年 9 月 24, 25 日、京都、歯材器、23:387、2004.
- 12) 棚瀬裕明、篠田耕伸、高橋好文：レジン系仮封材からのフタル酸エステル類の溶出. 歯材器、23:205-210、2004.
- 13) 川口 稔、高橋 裕、宮崎光治：各種浸漬媒体中におけるティッシュコンディショナーからのフタル酸エステルの溶出挙動. 日補綴会誌、48:404-412、2004.
- 14) Munksgaard EC: Leaching of plasticizers from temporary denture soft lining materials. Eur J Oral Sci, 112:101-105, 2004.
- 15) 川口 稔、久保山博子、高橋 裕、本川 渉、宮崎光治：ヒト唾液中におけるフタル酸エステル類の加水分解性. 第 6 回日本内分泌攪乱化学物質学会研究発表会要旨集、2003 年 12 月 2、3 日、仙台、p. 412.
- 16) 本郷敏雄、日景 盛、佐藤温重：ポリ塩化ビニル製グローブからのヒト唾液へのフタル酸ジ-2-エチルヘキシルの移行. 歯材器、23:488-494、2004.
- 17) 荻野景規、小栗一太(監修)：環境科学物質の代謝とその周辺. (財)日本公衆衛生協会、東京、2003.
- 18) Janke V, von Neuhoff N, Schlegelberger B, Leyhausen G, Geurtsen W: TEGDMA causes apoptosis in primary human gingival fibroblasts. J Dent Res, 82:814-818, 2003.
- 19) Spagnuolo G, Galler K, Schmalz G, Cosentino C, Rengo S, Schweikl H: Inhibition of phosphatidylinositol 3-kinase amplifies TEGDMA-induced apoptosis in primary human pulp cells. J Dent Res, 83:703-707, 2004.
- 20) 医薬品副作用情報 No. 116、平成 4 年 9 月.
- 21) 医薬品等安全性情報 No. 147、平成 10 年 3 月.
- 22) 医薬品・医療用具等安全性情報 No. 165、平成 13 年 3 月.
- 23) 医薬品・医療機器等安全性情報 No. 216、平成 17 年.
- 24) 厚生労働省医薬局審査管理課化学物質安全対策室：第 13 回内分泌かく乱化学物質の健康影響に関する検討会議事録. 平成 14 年 6 月 17 日、2002.
- 25) 厚生労働省医薬食品局審査管理課化学物質安全対策室：第 14 回内分泌かく乱化学物質の健康影響に関する検討会議事録. 平成 15 年 5 月 13 日、2003.
- 26) Fleischman P: Zur frage der gefahrlichkeit kleinster quecksilbermengen. Dtsch Med Wochenschr, 54:304-307, 1928.
- 27) Blumenthal F, Jaffe K: Amalgam plomben als ursache von quecksilber dermatitis. Dtsch Med Wochenschr, 55:1720, 1929.

- 28) Frykholm KO, Frithiof L, Fernstrom AI, Moberger G, Blohm SG, Bjorn E: Allergy to copper derived from dental alloys as a possible cause of oral lesions of lichen planus. *Acta Derm Venereol*, 49:268-281, 1969.
- 29) Thomson J, Russell JA: Dermatitis due to mercury following amalgam dental restorations. *Br J Derm*, 82:292-297, 1970.
- 30) Elgart ML, Higdon RS: Allergic contact dermatitis to gold. *Arch Dermatol*, 103:649-653, 1971.
- 31) 中山秀夫、国本法雄、原田玲子、戸田道子：金属アレルギーの観点から検討した掌蹠膿疱症（第2報）。*日皮会誌*、86:703-707、1976.
- 32) Cronin E: *Contact Derm. (First ed.)* :1-915, Churchill Livingstone, Edinburgh London New York, 1980.
- 33) vanKetel WG, Niebber C: Allergy to palladium in dental alloys. *Contact Derm*, 7:331, 1981.
- 34) 林原利朗、大山勝郎、児玉罔昭：歯科用コバルト合金による口腔粘膜扁平苔癬。*臨皮*、36:481-485、1982.
- 35) 中山秀夫：Dental metal eruption (1) 歯科金属アレルギーによると思われる口内扁平苔癬の1例。*日皮協カラーアトラス No. 47*、1983.
- 36) 須貝哲郎：アトラス接触皮膚炎。(初版) :1-355、金原出版株式会社、東京、1986.
- 37) Fisher AA: *Contact Derm. (Third ed.)* :1-954, Lea&Febiger, Philadelphia, 1986.
- 38) 鈴木真理、松永佳世子、細川かをり、萩野泰子、早川律子：金属パッチテスト結果。*皮膚*、30:231-239、1988.
- 39) Lammintausta K, Kalimo K: Nickel sensitivity and the course of atopic dermatitis in adulthood. *Contact Derm*, 22:144-147, 1990.
- 40) 浜田泰三：新・チェアサイドの応急処置：Denture の調整、補修に関連する事項—コバルトクロム床義歯を装着したところ、粘膜に発赤を生じ、アレルギーが疑われたとき。*デンタルダイヤモンド*、17増刊号：152-153、1992.
- 41) 中山秀夫：金属アレルギーによる扁平苔癬、掌蹠膿疱症。*皮膚*、34: 66-73、1992.
- 42) Hattori M, Yokota A, Kako M, Katoh K, Abe Y, Kawaguchi T, Gotoh H, Wakita K, Suzuki H, Takeuchi T: Epidemiological survey of metal allergy. *Aichi Gakuin Dent Sci*, 9 : 15-21, 1996.
- 43) Akiya O, Morimoto M, Suzuki Y, Hiura H, Katagiri S, Kawashima Y : A case of oral lichen planus due to sensitization to palladium. *Bull Tokyo Dent Coll*, 37 : 35-39, 1996.

- 44) 濱野英也、魚島勝美、苗 維平、益田高行、松村光明、埴 英郎、北崎裕之、井上昌幸：金属アレルギーと口腔内修復物の成分組成に関する調査. 口腔病会誌、65：93-99、1998.
- 45) 中村直史、島田隆光、奥原康行、岡村泰斗、福島大平、森本光明、山根源之、高橋槇一：歯科用インジウム合金の再使用によって再燃を認めた歯科金属疹の一例. 日口腔科会誌、49：556、2000.
- 46) 荒木元英、西村国浩、棚橋友哉、真鍋実、清水美輝雄、丹羽金一郎：矯正歯科材料によるアレルギーについて. 近畿東海矯正歯会誌、36：41-48、2001.
- 47) 大安努：金属アレルギーの関与が疑われた扁平苔癬患者の歯科治療症例. 日補綴会誌、47：391-392、2003.
- 48) 井上昌幸監修：GPのための金属アレルギー臨床. (初版)：1-185、デンタルダイヤモンド社、東京、2003.
- 49) Garner LA:Contact dermatitis to metals. Dermatol Ther, 17:321-327, 2004.
- 50) Nakao N, Kitaura H, Yoshida N:ジメチルグリオキシム試験による矯正用ワイヤーからのニッケル溶出の分析 *in vitro* 及び *in vivo* での研究. Orthod Waves、61：478-481、2002.
- 51) Eliades T, Athanasiou AE:*In vivo* aging of orthodontic alloys: implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. Angle Orthod, 72:222-237, 2002.
- 52) 津村智信：メタルインジェクションモールド法によるチタン製ブラケットのフリクション特性と溶出. 神奈川歯学、37：49-60、2002.
- 53) Lausmaa J, Kasemo R, Hansson S:Accelerated oxide grown on titanium implants during autoclaving caused by fluoride contamination. Biomaterials, 6:23-27, 1985.
- 54) 小田 豊、河田英司、吉成正雄、長谷川晃嗣、岡部 徹：チタンおよびチタン合金の腐食に及ぼすフッ素イオン濃度の影響. 歯材器、15:317-322、1996.
- 55) 小池麻里、中村 茂、藤井弘之：浸漬試験によるチタン溶出の評価. 日補綴会誌、41：675-679、1997.
- 56) 中川雅晴：口腔という環境におけるチタンの問題点. 日歯医師会誌、58：531-541、2005.
- 57) Brun R, Hunziker N:Pacemaker dermatitis. Contact Derm, 6:212-213, 1980.
- 58) Peters MS, Schroeter AL, van Hale HM, Broadbent JC:Pacemaker contact sensitivity. Contact Derm, 11:214-218, 1984.
- 59) Verbov J:Pacemaker contact sensitivity. Contact Derm, 12:173, 1985.
- 60) Viraben R, Boulinguez S, Alba C:Granulomatous dermatitis after implantation of a titanium-containing pacemaker. Contact Derm, 33:437, 1995.

- 61) Akaki T, Dekio S: Pacemaker dermatitis: Report of a case. Environ Dermatol, 9:153-157, 2002.
- 62) Lalor PA, Gray AB, Wright GS, Railton GT, Freeman MAR, Revell PA: Contact sensitivity to titanium in a hip prosthesis?. Contact Derm 23:193-194, 1990.
- 63) 浜崎晶彦、新井 堅、白石浩一、石橋裕一、原 雄人、友弘慎一、中野壮一郎: チタンプレート内固定によるアレルギー性間欠熱が疑われた一症例. 整形外科と災外、49: 597-600、2000.
- 64) 桑澤安行、飯田惣授、森田博之、島袋 晃、二ノ宮節夫: チタンプレートによると思われる金属アレルギーの1例. 整形外科、52: 1552-1554、2001.
- 65) 神元将志、永井達司、赤塚正洋、持田譲治: チタン合金製スクリューに対してアレルギー症状を呈した大腿骨頭すべり症の1例. 神奈川整災外会誌、14: 207、2002.
- 66) 木村一雄、尾上英俊、斉田 光、久保勝裕、浅原洋資: チタン製内固定材による骨接合術後に発生したと思われる金属アレルギーの一例. 整形外科と災外、53: 409-412、2004.
- 67) 今井啓介、小宗弘幸、戸田千綾、野町 健、藤本卓也、藤井美樹: 頭蓋骨骨延長法—われわれの行っている手術方法について—日形会誌、22:547-553、2002.
- 68) 大安 努、藤井弘之、小池麻里、寺野元博、中村 茂、南 二郎: Ti 修復物に対する不適応の3症例. 金属アレルギーが疑われた症例、日補綴会誌、43: 50、1999.
- 69) 三橋淳也、大久保厚司、三島弘幸、寒河江登志朗、小澤幸重: 純チタン製インプラントによるアレルギーの発現をみた一症例—パッチテストおよび Ig 検査の必要性—. 日歯先技研会誌、7: 164、2001.
- 70) 初瀬和敏、岸民 祐、小田 亮、上野 徹、大久保厚司、三島弘幸、寒河江登志朗、小澤幸重: 純チタン製インプラントによるアレルギー発現をみた一症例—パッチテスト及び Ig 検査の必要性—. 日口腔インプラント会誌、15:159、2002.
- 71) 小田 亮、下御領良二、新崎博文、大内英二、大久保厚司、三島弘幸、小澤幸重: インプラントの長期予後からみた Ti、Ti-6Al-4V、Ni-Ti 溶出による IgE 産生の確認. 日口腔インプラント会誌、15: 159、2002.
- 72) 細川隆司、赤川安正: チタンインプラントに対する金属アレルギーのリスク. 廣大歯誌、34: 1-5、2002.
- 73) 島津恒敏、高 永和: チタン修復物とインプラントによるアレルギー性皮膚疾患、アレルギー、52: 336、2003.

- 74) 池田尚司、井上五郎、栗本 秀、平野健一、須川 敬、紙谷 武：骨折治療の内固定材料による金属アレルギー．東海整外外傷会誌、16：50-52、2003.
- 75) 大安 努：金属アレルギーの関与が疑われた扁平苔癬患者の歯科治療症例．日補綴会誌、47：391-392、2003.
- 76) 大森香都良、栗原美詠、大川周治、天野秀雄：純チタンの応用により口腔扁平苔癬の症状が改善した一症例．明海大歯誌、32：186-188、2003.
- 77) Johnson MD, Kenney N, Stoica A, Hilakivi-Clarke L, Singh B, Chepko G, Clarke R, Sholler PF, Lirio AA, Foss C, Reiter R, Trock B, Paik S, Martin MB: Cadmium mimics the *in vivo* effects of estrogen in the uterus and mammary gland. Nat Med, 9:1081-1084, 2003.
- 78) Martin MB, Reiter R, Pham T, Avellanet YR, Camara J, Lahm M, Pentecost E, Pratap K, Gilmore BA, Divekar S, Dagata RS, Bull JL, Stoica A: Estrogen-like activity of metals in MCF-7 breast cancer cells. Endocrinology, 144:2425-2436, 2003.
- 79) Schuh A, Thomas P, Kachler W, Goske J, Wagner L, Holzwarth U, Forst R: All-ergic potential of titanium implants. Orthopade, 34:327-333, 2005.
- 80) 高橋好文、吉田 稔：アマルガム修復物から放出する水銀蒸気の基礎的検討．Biomed Res Trace Elements、14:368-370、2003.
- 81) Koike M, Ferracane JL, Adey JD, Fujii H, Okabe T: Initial mercury evaporation from experimental Ag-Sn-Cu amalgams containing Pd. Biomaterials. 25(16):3147-3153, 2004.
- 82) Rotstein I, Dogan H, Avron Y, Shemesh H, Steinberg D: Mercury release from dental amalgam after treatment with 10% carbamide peroxide *in vitro*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 89:216-219, 2000.
- 83) Certosimo A, Robertello F, Dishman M, Bogacki R, Wexel M: The effect of bleaching agents on mercury release from spherical dental amalgam. Gen Dent. 51(4):356-359, 2003.
- 84) Steinberg D, Blank O, Rotstein I: Influence of dental biofilm on release of mercury from amalgam exposed to carbamide peroxide. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater, 67B:627-631, 2003.
- 85) Rotstein I, Dogan H, Avron Y, Shemesh H, Mor C, Steinberg D: Protective effect of Copalite surface coating on mercury release from dental amalgam following treatment with carbamide peroxide. Endod Dent Traumatol, 16:107-110, 2000.
- 86) Akyüz S, Çağlar E: Pulpal uptake of mercury from lined amalgam restorations in guinea pigs. Eur J Oral Sci, 110:460-463, 2002.

- 87) Levy M, Schwartz S, DiJak M, Weber JP, Tardif R, Rouah F: Childhood urine mercury excretion: dental amalgam and fish consumption as exposure factors. *Environ Res.* 94(3):283-290, 2004.
- 88) Pesch A, Wilhelm M, Rostek U, Schmitz N, Weishoff-Houben M, Ranft U, Idel H: Mercury concentrations in urine, scalp hair, and saliva in children from Germany. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 12:252-258, 2002.
- 89) Becker K, Schluz C, Kaus S, Krause C, Seiwert M, Seifert B: German Environmental Survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in the urine of the German population. *Int J Hyg Environ Health*, 206:15-24, 2003.
- 90) Dye BA, Schober SE, Dillon CF, Jones RL, Fryar C, McDowell M, Sinks TH: Urinary mercury concentrations associated with dental restorations in adult women aged 16-49 years: United States, 1999-2000. *Occup Environ Med*, 62(6):368-375, 2005.
- 91) Apostoli P, Cortesi I, Mangili A, Elia G, Drago I, Gagliardi T, Soleo L, Valente T, Sciarra GF, Aprea C, Ronchi A, Minoia C: Assessment of reference values for mercury in urine: the results of an Italian polycentric study. *Sci Total Environ*, 289:13-24, 2002.
- 92) Mortada WI, Sobh MA, EI-Defrawy MM, Farahat SE: Reference intervals of cadmium, lead, and mercury in blood, urine, hair, and nails among residents in Mansoura city, Nile delta, Egypt. *Environ Res Section A*, 90:104-110, 2002.
- 93) WHO, 1991. Inorganic Mercury. In: *Environmental Health Criteria* 118. World Health Organization, Geneva. pp. 60-62.
- 94) Karahalil B, Rahravi H, Ertas N: Examination of urinary mercury levels in dentists in Turkey. *Hum Exp Toxicol*. 24(8):383-388, 2005.
- 95) Ritchie KA, Burke FJ, Gilmour WH, Macdonald EB, Dale IM, Hamilton RM, McGowan DA, Binnie V, Collington D, Hammersley R: Mercury vapour levels in dental practices and body mercury levels of dentists and controls. *Br Dent J*. 197(10):625-632, 2004.
- 96) Morton J, Mason HJ, Ritchie KA, White M: Comparison of hair, nails and urine for biological monitoring of low level inorganic mercury exposure in dental workers. *Biomarkers*. 9(1):47-55, 2004.
- 97) Martin MD, Naleway C: The inhibition of mercury absorption by dietary ethanol in humans: cross-sectional and case-control studies. *Occup Environ Med*. 61(2):1-3, 2004.

- 98) Becker K, Kaus S, Krause C, Lepom P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B: German Environmental Survey 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population. *Int J Hyg Environ Health*, 205:297-308, 2002.
- 99) Barany E, Bergdahl IA, Bratteby LE, Lundh T, Samuelson G, Skerfving S, Oskarsson A : Mercury and selenium in whole blood and serum in relation to fish consumption and amalgam fillings in adolescents. *J Trace Elem Med Biol*. 17 (3) :165-170, 2003.
- 100) Lindberg A, Björnberg KA, Vahter M, Berglund M : Exposure to methylmercury in non-fish-eating people in Sweden. *Environ Res*. 96(1) :28-33, 2004.
- 101) Björnberg KA, Vahter M, Grawe KP, Berglund M : Methyl mercury exposure in Swedish women with high fish consumption. *Sci Total Environ*. 341(1-3) : 45-52, 2005.
- 102) Ask K, Åkesson A, Berglund M, Vahter M: Inorganic mercury and methylmercury in placentas of Swedish women. *Environ Health Perspect*, 110:523-526, 2002.
- 103) Björnberg KA, Vahter M, Petersson-Grawe K, Glynn A, Cnattingius S, Darnerud PO, Atuma S, Aune M, Becker W, Berglund M: Methyl mercury and inorganic mercury in Swedish pregnant women and in cord blood: influence of fish consumption. *Environ Health Perspect*, 111:637-641, 2003.
- 104) Lindow SW, Knight R, Batty J, Haswell SJ: Maternal and neonatal hair mercury concentrations: the effect of dental amalgam. *BJOG*, 110:287-291, 2003.
- 105) Joshi A, Douglass CW, Kim H-D, Joshipura KJ, Park MC, Rimm EB, Carino MJ, Garcia RI, Morris JS, Willett WC: The relationship between amalgam restorations and mercury levels in male dentists and nondental health professionals. *J Public Health Dent*, 63:52-60, 2003.
- 106) Luglie PF, Campus G, Chessa G, Spano G, Capobianco G, Fadda GM, Dessole S : Effect of amalgam fillings on the mercury concentration in human amniotic fluid. *Arch Gynecol Obstet*. 271:138-142, 2005.
- 107) Ursinyova M, Masanova V : Cadmium, lead and mercury in human milk from Slovakia. *Food Addit Contam*, 22(6) :579-589, 2005.
- 108) Costa SL, Malm O, Dorea JG: Breast-milk mercury concentrations and amalgam surface in mothers from Brasilia, Brazil. *Biol Trace Elem Res*, 106(2) :145-151, 2005.

- 109) Issa Y, Brunton PA, Glenny AM, Duxbury AJ: Healing of oral lichenoid lesions after replacing amalgam restorations: A systematic review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endo.* 98:553-565, 2004.
- 110) Al-Mutairi N, Sharma AK, Osama NE, Joshi A, Ayman H : Isotopic cutaneous lichen planus possibly related to dental amalgam. *J Am Acad Dermatol.* 50 (4) :653-654, 2004.
- 111) Thornhill MH, Pemberton MN, Simmons RK, Theaker ED: Amalgam-contact hyper-sensitivity lesions and oral lichen planus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,* 95:291-299, 2003.
- 112) Dunsche A, Kästel I, Terheyden H, Springer ING, Christophers E, Brasch J: Oral lichenoid reactions associated with amalgam: improvement after amalgam removal. *Br J Dermatol,* 148:70-76, 2003.
- 113) Dunsche A, Frank MP, Lüttges J, Açil Y, Brasch J, Christophers E, Springer ING: Lichenoid reactions of murine mucosa associated with amalgam. *Br J Dermatol,* 148:741-748, 2003.
- 114) Laeijendecker R, Dekker SK, Burger PM, Mulder PGH, Van Joost T, Neumann MHA : Oral lichen planus and allergy to dental amalgam restorations. *Arch Dermatol.* 140(12) :1434-1438, 2004.
- 115) Zimmer H, Ludwig H, Bader M, Bailer J, Eickholz P, Staehle HJ, Triebig G: Determination of mercury in blood, urine and saliva for the biological monitoring of an exposure from amalgam fillings in a group with self-reported adverse health effects. *Int J Hyg Environ Health,* 205:205-211, 2002.
- 116) Gottwald B, Traenckner I, Kupfer J, Ganss C, Eis D, Schill WB, Gieler U: "Amalgam disease"-poisoning, allergy, or psychic disorder? *Int J Hyg Environ Health,* 204:223-229, 2001.
- 117) Langworth S, Björkman L, Elinder C-G, Järup L, Savlin P: Multidisciplinary examination of patients with illness attributed to dental fillings. *J Oral Rehabil,* 29:705-713, 2002.
- 118) Bates MN, Fawcett J, Garrett N, Cutress T, Kjellstrom T : Health effects of dental amalgam exposure: a retrospective cohort study. *Int J Epidemiol.* 33 : 1-9, 2004.
- 119) Mortada WI, Sobh MA, El-Defrawy MM, Farahat SE: Mercury in dental restoration: is there a risk of nephrotoxicity? *J Nephrol,* 15:171-176. 2002.

- 120) Hujoel PP, Lydon-Rochelle M, Bollen AM, Woods JS, Geurtsen W, Del Aguila MA:Mercury exposure from dental filling placement during pregnancy and low birth weight risk. *Am J Epidemiol.* 161(8):734-740, 2005.
- 121) Holmes AS, Blaxill MF, Haley BE:Reduced levels of mercury in first baby haircuts of autistic children. *Int J Toxicol.* 22:277-285, 2003.
- 122) Yoshizawa K, Rimm EB, Morris JS, Spate VL, Hsieh C-C, Spiegelman D, Stampfer MJ, Willett WC:Mercury and the risk of coronary heart disease in men. *N Engl J Med*, 347:1755-1760, 2002.
- 123) Factor-Litvak P, Hasselgren G, Jacobs D, Begg M, Kline J, Geier J, Mervish N, Schoenholtz S, Graziano J: Mercury derived from dental amalgams and neuropsychologic function. *Environ Health Perspect*, 111:719-723, 2003.
- 124) Kingman A, Albers JW, Arezzo JC, Garabrant DH, Michalek JE:Amalgam exposure and neurological function. *Neurotoxicology.* 26(2):241-255. 2005.
- 125) Ritchie KA, Gilmour WH, Macdonald EB, Burke FJT, McGowan DA, Dale IM, Hammer-sley R, Hamilton RM, Binnie V, Collington D: Health and neuropsychological functioning of dentists exposed to mercury. *Occup Environ Med*, 59:287-293, 2002.
- 126) Lobner D, Asrari M:Neurotoxicity of dental amalgam is mediated by zinc. *J Dent Res.* 82(3):243-246, 2003.
- 127) Mcmanus KR, Fan PL:Purchasing, installing and operating dental amalgam separators. *JADA*, 134:1054-1065, 2003.
- 128) Stone ME, Cohen ME, Liang L, Pang P: Determination of methyl mercury in dental-unit wastewater. *Dent Mater*, 19:675-679, 2003.
- 129) 厚生労働省大臣官房統計情報部:1965年～2002年度, 社会医療診療行為別調査. 財団法人 厚生統計協会, (東京).
- 130) Pizzichini M, Fonzi M, Giannerini F, Mencarelli M, Gasparoni A, Rocchi G, Kaitsas V, Fonzi L:Influence of amalgam fillings on Hg levels and total antioxidant activity in plasma of healthy donors. *Sci Total Environ*, 301:43-50, 2003.
- 131) Yasutake A, Matsumoto M, Yamaguchi M, Hachiya N:Current hair mercury levels in Japanese: Survey in five districts. *Tohoku J Exp Med*, 199:161-169, 2003.
- 132) Yasutake A, Matsumoto M, Yamaguchi M, Hachiya N:Current hair mercury levels in Japanese for estimation of methylmercury exposure. *J Health Sci*, 50(2):120-125, 2004.

- 133) Consumer Update:Dental Amalgams,
 〈<http://www.fda.gov.cdrh/consumer/amalgams.html>〉 .
- 134) LSRO:Review and analysis of the literature on the potential adverse health effects of dental amalgam. 2004.
- 135) GLOBAL MERCURY ASSESSMENT : UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME, CHEMIC-LAS, Issued by UNEP chemicals. Geneva, Switzerland, December 2002.
- 136) Liu J, Lei D, Waalkes MP, Beliles RP, Morgan DL:Genomic analysis of the rat lung following elemental mercury vapor exposure. *Toxicol Sci.* 74:174-181, 2003.
- 137) Burkle V, kuenisch J, Guelmann M, Hickel R : Restoratrion materials for primary molars-results from a European survey. *J Dent*, 33 : 275-281, 2005.
- 138) Kiremitici A, Bolay S:A 3-year clinical evaluation of gallium restorative alloy. *J Oral Rehabil* 30:64-667, 2003.
- 139) 広瀬弘忠 : 静かな時限爆弾 アスベスト災害. 初版、新曜社、東京、1985.
- 140) 厚生労働省 : 石綿による健康被害への対応について、平成 17 年 7 月 8 日.
- 141) 厚生労働省 : アスベスト(石綿)について Q&A、平成 17 年 7 月 29 日.
- 142) Gilson JC:Problems and perspectives:The changing hazards of exposure to asbestos. *Ann N Y Acad Sci*, 132:696-705, 1965.
- 143) Selikoff IJ, Hammond EC, Churg J:Carcinogenicity of amosite asbestos. *Arch Environ Health*, 25:183-186, 1972.
- 144) Selikoff IJ, Nicholson WJ, Langer AM:Asbestos air pollution. *Arch Environ Health*, 25:1-13, 1972.
- 145) 小泉岳夫、梶田一男、満谷夏樹、椋田知行、石津弘視、桜井幹巳 : Asbestosis を伴った腹膜中皮腫の 1 例. *日内会誌*、62 : 783-787、1973.
- 146) 姜 健栄、瀬良好澄、横山邦彦 : 石綿肺に合併した胸膜中皮腫の 1 例. *日胸疾会誌*、12 : 458-464、1974.
- 147) Bruckman L, Rubino RA, Christine B:Asbestos and mesothelioma incidence in Connecticut. *J Air Pollut Control Assoc*, 27:121-126, 1977.
- 148) Solomon A, Irwig LM, Sluis-Cremer GK, Thomas RG, DuToit RSJ: Thickening of pulmonary interlobar fissures:exposure-response relationship in crocidolite and amosite miners. *Brit J Indust Med*, 36:195-198, 1979.
- 149) Task group on lung dynamics Int Radiol Protection Comm:Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys*, 12:173-207, 1966.
- 150) Davis JMG:Electron-microscope studies of asbestosis in man and animals. *Ann N Y Acad Sci*, 132:98-111, 1965.

- 151) Miller L, Smith WE, Berliner SW: Tests for effect of asbestos on benzo [a]pyrene carcinogenesis in the respiratory tract. *Ann N Y Acad Sci*, 132:489-500, 1965.
- 152) Holt PF, Mills J, Young DK: Experimental asbestosis with four types of fibers: Importance of small particles. *Ann N Y Acad Sci*, 132:87-97, 1965.
- 153) Botham SK, Holt PF: Development of asbestos bodies on amosite, chrysotile and crocidolite fibres in guinea pig lungs. *J Path*, 105:159-167, 1971.
- 154) Stanton MF, Wrench C: Mechanisms of mesothelioma induction with asbestos and fibrous glass. *J Nat Cancer Inst*, 48:797-821, 1972.
- 155) Hiatt DM: Experimental asbestosis: an investigation of functional and pathological disturbances. I. Methods, control animals and exposure conditions. *Brit J Indust Med*, 35:129-134, 1978.
- 156) Hiatt DM: Experimental asbestosis: an investigation of functional and pathological disturbances. II. Results for chrysotile and amosite exposures. *Brit J Indust Med*, 35:135-145, 1978.
- 157) Davis JMG: The use of animal models for studies on asbestos bioeffects. *Ann N Y Acad Sci*, 330:795-798, 1979.
- 158) 石川 節、宮本優美、大川内稔、石川昌英、倉澤 聡、中山杜人、三浦溥太郎、諸星隆夫、赤羽久昌、相田真介：歯科技工士時代に石綿曝露歴がある悪性胸膜中皮腫の1例、肺癌、42：313、2002.
- 159) 森永謙二、東原恵郎、大西一男、前田 均、坂谷光則、審良正則、岸本卓巳、名部 誠、多田慎也、中村之信、宇佐美郁治、五藤雅博、有澤 淳：歯科技工士の死因分布の検討、日職災医学会誌、51：177、2003.
- 160) 厚生労働省：石綿による健康被害への対応について、平成17年7月8日。
- 161) アスベスト問題に関する関係閣僚による会合：アスベスト問題への当面の対応、平成17年7月29日、平成17年8月26日、平成17年9月29日、平成17年11月29日。
- 162) 萩原博之：脱アスベストに見る代替材料の落とし穴—再吟味要する人体への安全度—。 *Nikkei New Materials*、3月9日号、12-23、1992.
- 163) 森本泰夫：人造鉱物繊維の発がん性について—国際がん研究機関（IARC）の報告—。 *産業医ジャーナル*、25：63-71、2002.
- 164) ipcsmail@who.int .
- 165) 厚生労働省医薬局審査管理課：生物由来製品及び特定生物由来製品指定成分一覧(案)、〈<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2003/03/s0319-5a.html>〉 .
- 166) 独立行政法人医薬品医療機器総合機構：ホームページ、〈<http://www.pmda.go.jp/>〉 .

II. 齲蝕予防におけるフッ素剤応用の現状分析について

平成11年11月に日本歯科医学会医療環境問題検討委員会フッ化物検討部会(須田立雄部会長)は「フッ化物応用についての総合的な見解」として、「国民の口腔保健向上のため齲蝕予防を目的としたフッ化物の応用を推奨する。具体的には、現時点で、直ちに実施可能なフッ化物洗口法およびフッ化物配合歯磨剤の使用、ならびに臨床的応用法であるフッ化物歯面塗布法の実施を推奨する。さらに、わが国におけるフッ化物の適正摂取量:AI(Adequate Intake)を確定するための研究の推進を奨励する」との答申を行った¹⁾。これを契機に厚生省は、平成12年から3ヵ年の厚生科学研究として、フッ化物の栄養所要量の策定を検討することを含む「歯科疾患の予防技術・治療評価に関するフッ化物応用の総合的研究」を開始した。主な研究内容は、「フッ化物のAIの推定」、「水道水フッ化物添加の技術的安全性の検討」、「フッ化物の全身への影響」、「フッ化物局所応用・製剤の検討」、「フッ化物応用の医療経済・社会経済的評価」、「フッ化物応用の保健情報・EBMと行動科学」、「フッ化物応用の国際情報比較」であり、その後も本研究プロジェクトは、厚生労働科学研究として平成17年度まで継続されている。一方、日本歯科医師会は、平成12年12月に前述の答申の趣旨を全面的に支持するとの見解を明らかにするなど、フッ化物応用の機運はますます高まりを見せている。

1. 国内の現状

平成12年に公表された「21世紀における国民健康づくり運動(健康日本21)」における「歯の健康」の目標達成手段として、「フッ化物歯面塗布、フッ化物配合歯磨剤、フッ化物洗口」などのフッ化物局所応用の普及が必要であることが掲げられた²⁾。

1.1 フッ化物配合歯磨剤

フッ化物配合歯磨剤の市場占有率(金額)は、平成12年の76%から平成15年の87%へと上昇している³⁾。しかしながら、この市場占有率の計算は、歯磨剤製品に占めるフッ化物配合歯磨剤の割合である点を考慮しなければならない。「健康日本21」では、2010年までの歯科目標のひとつに、「学齢期におけるフッ化物配合歯磨剤の使用割合を90%以上にする」が掲げられているが、日本口腔衛生学会フッ化物応用委員会の平成12年の調査によれば、6歳から12歳の全員(歯磨剤非使用者を含む)の中でのフッ化物配合歯磨剤の使用率は78.3%であり、90%に達していないという⁴⁾。ところが、歯磨剤使用者に限定すると90.5%になるため、歯磨剤を使用しない者への対策が課題となっている。別の調査でも、全員に対するフッ化物配合歯磨剤使用者割合は、小学生が66%、中学生が57%と低いが、歯磨剤使用者に限定すると小学生が87.6%、中学生が83.4%に上昇するという同

様な傾向を認めている⁵⁾。

一方、8020 推進財団による平成 17 年 2 月の小学生 12,700 名、中学生 10,580 名を対象にした質問紙調査によれば、6 歳から 12 歳の全員の中でのフッ化物配合歯磨剤の使用率は 88.1%と、さらに上昇している傾向が窺われるものの、健康日本 21 の学齢期の目標である「90%以上」には達していない⁶⁾。この調査でも歯磨剤の使用者に限定した集計では 93.1%に達している。

1.2 フッ化物歯面塗布

歯科疾患実態調査結果（厚生省）によると、14 歳以下のフッ化物歯面塗布経験者の割合は昭和 42 年の 6.03%から毎回の調査ごとに増加し続けており、平成 11 年の調査では 42.03%に達している⁷⁾。

一方、8020 推進財団による全国の 5,285 名の歯科医師を対象にした調査によれば、平成 15 年の 1 年間にフッ化物歯面塗布を実施した者は 75%であり、388 万人に実施したと推計されている。塗布の方法は一般法 58%、歯ブラシ法 15%、トレー法 10%、不明 10%、イオン導入法 6%であり、歯ブラシ法が増加する傾向を示している⁸⁾。ただし、フッ化物歯面塗布はトレー法および一般法が原則であり、これらが使用できない場合に歯ブラシ法を採用するものとし、過剰なフッ化物の飲み込みが危惧されるため、防湿、塗布終了後の拭き取りを行い、ゲル使用量を守るなどの注意が喚起されている⁹⁾。

また、わが国で製品として使用されるフッ化物塗布剤は、中性フッ化ナトリウム溶液、酸性フッ化ナトリウム溶液とゲルであったが、平成 17 年 8 月に新たに中性フッ化ナトリウムのフォーム製剤が認可され、今後のさらなる普及が期待されている。

1) チタン合金とフッ化物歯面塗布

耐食性、生体適合性、機械的強度に優れていることから、チタンはインプラント、金属床、鑄造冠、矯正歯科用ワイヤーなど口腔内材料としても使用されている。ところが、酸性のフッ化物塗布剤で腐食されるとの指摘から、近年になりフッ化物によるチタン合金の安定性に関する実験がなされ、チタンの腐食やチタン・ニッケル合金の腐食により溶出するニッケルのアレルギーが懸念されている¹⁰⁾。

小瀬木らは、種々のフッ化物製剤に純チタンとチタン合金を 5 分および 24 時間浸漬した結果から、歯面塗布に用いる高濃度フッ化物製剤との接触は避けるべきであると結論した¹¹⁾。また、小田の研究では、塗布剤、洗口剤、歯磨剤のいずれのフッ化物製剤でも、対照の食塩水に比べ、チタンおよびチタン合金が腐食されている所見を示した¹²⁾。一方、Watanabe らの研究では、低濃度のフッ化物製剤の影響はなく、24 時間の酸性のフッ化物塗布剤による影響が示された¹³⁾。これらの実験のフッ化物製剤との接触は 24 時間であり、通常のフッ化物応用の条件とはかけ離れている。フッ化物歯面塗布は 1 回 4 分間の応用時間で年 2 回、フッ化物洗

口の毎日法は1回30秒間の応用時間で1年間365日であり、それぞれ年間の合計では、8分間と3時間の接触時間になり、24時間に達しない。さらに、口腔内には唾液が存在しており、洗浄・中和・緩衝作用も期待できるし、同一ワイヤーを3ヶ月以上にわたって長期使用することはほとんどない。

そこで内山らは中性フッ化物歯面塗布剤に6分間接触させ、その後で人工唾液に5分間浸漬するというサイクルを1日12回繰り返し、計6時間フッ化物と接触させたところ、チタンおよびチタン合金に異常は認められなかったと報告した¹⁴⁾。

1.3 フッ化物洗口

厚生労働省は平成15年1月に、8020運動の推進や国民に対する歯科保健情報の提供の観点から、従来のフッ化物歯面塗布法に加え、より効果的なフッ化物洗口法の普及を図るため「フッ化物洗口ガイドライン」を定めた¹⁵⁾。これは、医政局長ならびに健康局長から各都道府県知事に通知され、保健所設置市、特別区、関係団体等に周知し、普及を図ろうというものである。一方、文部科学省でも「フッ化物洗口ガイドライン」を都道府県の教育長に通知した。

このガイドラインには、4歳から14歳までのフッ化物洗口の継続的实施を推奨するとともに、成人の歯頸部齲蝕や根面齲蝕の予防、ならびに2次齲蝕予防、歯列矯正装置装着児へも広く適用されるとしている。また、フッ化物洗口はかかりつけ歯科医の指導のもとに家庭で応用する方法があるとしながらも、地域単位で、保健所・幼稚園や小・中学校での集団応用を公衆衛生特性の高い方法として位置づけている。さらに、他のフッ化物応用と組み合わせた応用や腎疾患などの有病者にも安全に応用できるとしている。

また、平成16年3月末現在のフッ化物洗口の集団応用実施人数は396,702人と2年前よりおよそ10万人増加したという調査結果が報告された¹⁶⁾。個人応用実施人数の見積り35万人¹⁷⁾との合算では75万人になり、4歳から14歳の人口の約6%に相当している。

一方、8020推進財団による全国の5,285名の歯科医師を対象にした調査によれば、平成15年の1年間にフッ化物洗口を実施した者は19%であり、88万人に実施したと推計されている⁸⁾。

1) フッ化物洗口集団適用に関する意見書

平成15年8月に「薬害オンブズパーソン会議（鈴木利廣代表）」より厚生労働大臣に「フッ化物洗口集団適用に関する意見書」が提出された。この会議は公的機関により召集されたものではなく、厚生労働省に意見に回答する義務はないが、医政局歯科保健課長は厚生労働科学研究班（H15-医療-020）と日本口腔衛生学会の協力を得てこの意見書に対する「解説書」を作成し、関係者に発信することで混乱を防ぐ手立てを講じた¹⁸⁾。解説書を要約すれば、わが国における現行のフッ化物洗口集団適用には、4歳児からの開始により心配されるフッ化物の慢性的な

全身的影響ならびに急性的な影響に関する証拠はなく、個人の自己決定権の侵害にもあたらないとしている。さらに、近年のわが国の子ども達の齲蝕減少傾向は認められるが、先進国の子ども達より多く、また「健康日本 21」の 2010 年の歯科目標の 1 つである「12 歳児の DMFT を 1 以下」を達成する上でも永久歯萌出以前である 4 歳児からの実施の必要性が高いとした。

また、この意見書の中に WHO のテクニカルレポート（「Fluoride and Oral Health」No. 846、1994 年）に 1 日のフッ化物摂取総量が過剰になることの防止策として、「6 歳未満の子どもにフッ化物洗口を応用すべきではない」との見解が述べられていた¹⁹⁾。この点について、日本口腔衛生学会では「就学前からのフッ化物洗口法に関する見解」の中で、フッ化物全身応用が実施されていないわが国においては、就学前児（ことに 4 歳児）から小・中学生まで一貫してフッ化物洗口を実施することは有効、かつ、過剰摂取にはならないと考えられるので安全であることから推奨されるものであり、この WHO の見解はわが国には適用しないとの解釈を述べている²⁰⁾。また厚生労働省の「フッ化物洗口ガイドラインについて」においても、4 歳から 14 歳までのフッ化物洗口の継続が推奨されている¹⁵⁾。さらに今回、これらのわが国の見解を支持する根拠となる就学前児のフッ化物洗口に関する論文が公表された²¹⁾。

これは 769 名の 4～5 歳児を対象に、1 ヶ月間水による洗口の練習をし、0.05% NaF 溶液 7ml による 60 秒間の洗口後に吐出、回収されたフッ化物を測定し、口腔内に残留したフッ化物量を算定したものである。その結果、準備したフッ化物のうち、4 歳児の平均で 12%、5 歳児で 10.7%が口腔に残留したという。さらに残留量が 0.5mg を超えたのは 6 名であり、それらの子どもを 1 週間ごとに 3 回追跡調査したところ、いずれも 0.5mg 未満になったと述べられている。この論文に対する編集者のコメントが雑誌の巻頭に次のように記されている²²⁾。「フッ化物の適切な使用は、最大の齲蝕予防と最小の歯のフッ素症のリスクを考慮し、可能な限り有益となるバランスをとることである。日本においては学校におけるフッ化物洗口が何年も行われてきたが、この研究により、同様なプログラムを実行している就学前児童が摂取するフッ化物量は、安全で推奨される範囲にあることが明らかになった。したがって、十分に管理されたプログラムは、幼い児童であっても明白に予防的な口腔ケアとしての役割を担うものである」。

2) フッ化物洗口剤によるアレルギー

昭和 42 年に製剤化されたフッ化物洗口剤（ミラノール[®]、ビーブランド・メディコ・デンタル販売）を使用した 5 歳の女兒に発疹が見られたという報告がなされた²³⁾。これによれば、ミラノール[®]に含まれるフッ化ナトリウム以外の成分（パラベン、ケイヒ油、メントール、ヒドロキシプロピルセルロース、塩化セチルピリジニウム）の単独あるいは複合作用によるアレルギー様反応が疑われるとされ

たが、パッチテストを実施した結果、洗口液についてはすべて陰性という判定であり、フッ化物洗口によるものではないことが確認された²⁴⁾。

1.4 歯列矯正装置装着児へのフッ化物応用

2004年に「矯正歯科治療等における口腔衛生管理に関する提言」が公表された²⁵⁾。これは、歯科矯正治療後に矯正装置を装着した上顎4前歯に齲蝕が発生した患者からの訴訟について、歯科医師が固定器具周辺のブラッシング指導を怠ったことによるものであるとの判決が下った（平成15年、7月）ことがきっかけとなっている。本提言は日本矯正歯科学会、日本小児歯科学会、日本口腔衛生学会でとりまとめ、日本歯科医学会（平成16年1月16日）、日本歯科医師会（平成16年1月22日）で承認されたものである。これによれば、矯正歯科治療に伴う齲蝕リスクの増加に対処するために、齲蝕活動性（リスク度）評価等を用いた初期齲蝕の診断や、口腔衛生指導、フッ化物応用等が必要とされている。とくに、フッ化物応用については、生活習慣等の指導において「フッ化物配合歯磨剤の使用を推奨する。また、かかりつけ歯科医等の指導下で行うフッ化物洗口の実施を必要に応じて提唱する」と提言されている。

ここでいう齲蝕活動性（リスク度）評価とは、提言の参考文献から判断して、一般的なか齲蝕活動性試験だけでなく、初期齲蝕の検出と定量化、歯垢の付着、その他、フッ化物の応用程度や歯磨き習慣などを含めた広義のリスク評価と解釈される。

1.5 水道水フッ化物添加

水道水へのフッ化物の添加による齲蝕予防法は、その有効性、安全性、至便性、経済性など公衆衛生的に優れた方法であるとの報告が多いが、水道水への添加という手段の性格上、その実施は最終的には地方自治体の問題であり、地域住民をはじめ歯科医師会など関連専門団体の合意が前提となるため、いくつかの地域で実施の機運があるものの未だ実施に至っていない。厚生労働省は、「水道水へのフッ化物の添加を含めフッ化物応用については、厚生科学研究の進展を見守りながら、検討していくべき課題である」と認識し、「自治体から、水道水質基準(0.8mg/L以下)内でのフッ化物添加について技術的支援の要請があれば、水道事業者、水道利用者、地元歯科医師会の理解を前提に、厚生科学研究の成果を活用するなどにより歯科保健行政の一環として応じてまいりたい」との意向である²⁶⁾。日本口腔衛生学会へも水道水フッ化物添加に関する学術的支援の要請がいくつか寄せられているが、平成18年1月現在で地域水道水へのフッ化物添加を決定した自治体はない。

ただ平成17年6月30日には、厚生労働省、日本口腔衛生学会、富岡甘楽歯科医歯科医などの支援を受け、群馬県下仁田町の「下仁田町保健センター」にフッ化物添加装置が設置され、住民が0.8ppm以下のフッ化物添加水を自由に試飲でき

るようになった²⁷⁾。このように、住民に対する啓発活動が継続され、地域での水道水フッ化物添加実施の実現が計画されている。

2. 世界の現状

FDI（国際歯科連盟）は世界に向けてフッ化物応用に関する声明を2001年に改めて出した²⁸⁾。これによれば、水道水フッ化物添加がもっとも効果的で公衆衛生的な齲蝕予防手段であり、これが実施されない地域では、食塩へのフッ化物添加が望ましい方法であるとしている。また、フッ化物配合歯磨剤はもっとも重要な公衆衛生手段であり、さらに普及するための努力がなされるべきであり、フッ化物洗口やフッ化物歯面塗布は齲蝕リスクにある個人（フッ化物洗口は個人と集団）に対して適応されるものであるとしている。

また、WHOのPetersenらは、21世紀におけるフッ化物応用のアプローチにおいて「WHOは公衆衛生的見地から、発展途上国で利用可能なフッ化物配合歯磨剤の開発にあらゆる努力を注ぐよう推奨する。技術的に可能で文化的に受け入れられる地域では、水道水フッ化物添加は公衆衛生的に多くの利点がある。食塩とミルクへのフッ化物添加計画は、代替的な齲蝕予防とみなされる。」と述べている²⁹⁾。

このような潮流の中で、米国CDC（疾病予防管理センター）のホームページ（2004年）に「口腔保健：齲蝕、歯周疾患、口腔ガンの予防」が掲載された³⁰⁾。その「効果的なフッ化物応用の奨励」の項に、米国のフッ化物応用に対する姿勢が改めて示された。要約すれば、「過去50年間の齲蝕による損失は、主にフッ化物応用により劇的に改善した。その中でもっとも費用効果の高い方法が水道水フッ化物添加であり、20,000人以上が居住している地域では、1年間に1ドルの投資で38ドルの節減になる。この水道水フッ化物添加により米国の子どもの齲蝕が30-50%減少したと結論できる。CDCは種々のフッ化物応用の適正な利用を評価する際の国のリーダーシップをとり、水道水フッ化物添加の質的改善と新規実施に向けて援助する」というものである。さらに米国公衆衛生局長官は、2004年に改めて水道水フッ化物添加に関する声明を発表した³¹⁾。それには、「水道水フッ化物添加はもっとも費用効果が高く公正で安全な手段であり、米国において1億7千万人以上（公共水道利用人口の67%）が利用している。歴代の公衆衛生局長官と同様に、すべての米国民における口腔の健康を今後とも推進するにあたり、引き続き公衆衛生面での役割を認めるものである」と述べている。

一方、英国フロリデーション協会は2004年に水道水フッ化物添加白書（第2版）を公表し、有効性、安全性（歯、全身、環境）、実施のための意思決定、技術面、支援、倫理などについて再整理してホームページに掲載した³²⁾。

さらに、フッ化物局所応用の有効性を再評価しようというシステムティック・レビューが盛んに行われている。その代表としてのコ克蘭・ライブラリーのレ

ビューによれば、フッ化物配合歯磨剤、洗口剤、塗布用ゲルまたはバーニッシュは無作為化比較対照試験により、齲蝕予防効果が実証されたものであり、D(M)FSによる予防効果は、26% (95%信頼区間は24–29%, $p < 0.0001$) であるという³³⁾。また、それぞれの効果は同程度であり³⁴⁾、フッ化物配合歯磨剤に他の局所応用を組合わせた場合の予防効果は10% (95%信頼区間は2–17%, $p < 0.01$) とわずかに上昇するという^{35, 36)}。

2005年の7月13～16日に、米国のシカゴにおいて水道水フッ化物添加開始60周年記念事業が開催された。第二次世界大戦の最中であった1945年1月25日にグランドラピッズで世界に先駆けて人工的に水道水にフッ化物が添加されて60年が経過したわけである。現在では1億6千5百万人の米国民が人工的にフッ化物添加された水道水を利用し、1千万人が天然のフッ化物添加水道水を利用しているという。

3. 今後の課題

以上のように、フッ化物応用による副作用などの事実は確認されておらず、わが国の専門機関は、フッ化物応用の推進に向けて活動し、着実に普及し、齲蝕減少という成果が現れてきている。

中でもフッ化物配合歯磨剤の普及は著しく、「健康日本21」の目標にもう一步というところまで来ている。今後は歯磨剤そのものを使用しない子どもへの対策が課題であるが、平成17年3月に文部科学省は、小学校と中学校における「歯・口の健康づくり」の目標のひとつに、フッ化物配合歯磨剤を挙げた³⁷⁾。このように学校保健におけるライフスキル教育が推進され、健康日本21の目途である2010年には目標値としての90%以上を達成できる見込みである。

またフッ化物歯面塗布は、液体、ゲル、フォームと剤型の利用幅は広がったものの、世界では主流になりつつあるAPFのフォームが利用できないため今後の開発が待たれる。一方、フッ化物のチタンに及ぼす腐食の実験報告を吟味すれば、現在のところ、酸性のフッ化物歯面塗布剤の使用に関しては、矯正用チタン合金ワイヤーへの腐食の恐れがあるため、注意が必要であるといえる。「矯正歯科治療等における口腔衛生管理に関する提言」には、矯正歯科患者へのフッ化物配合歯磨剤の使用の推奨とフッ化物洗口実施の提唱の記載はあるものの²⁵⁾、フッ化物歯面塗布に関する記載はないので混乱はないかもしれないが、実際には矯正歯科患者にフッ化物歯面塗布を実施している現場は多いものと思われる。したがって、フッ化物歯面塗布はワイヤーをはずして調整する時に実施することを推奨する。この時であれば、塗布前の歯面清掃にしても塗布にしてもワイヤーがなく実施が容易になるし、酸性の高濃度フッ化物との接触は避けられるからである。

さらに、フッ化物洗口も徐々に普及しているが、集団応用の際に利用されるフッ化物濃度 900ppm の週 1 回法の洗口剤の製剤化が望まれる。また、家庭で利用される毎日法のフッ化物洗口剤は処方せんを必要としない医療用の医薬品であるが、平成 17 年 3 月の厚生労働省医薬食品局長の通知に「処方せん医薬品以外の医療用医薬品についても、薬局においては処方せんに基づく薬剤の交付が原則である」とあり³⁸⁾、ミラノール[®]やオラブリス[®]の歯科医院と薬局での取扱いについて検討していく必要がある。

最近では、種々なフッ化物応用法の有効性が整理され、それにしたがってフッ化物応用法の組み合わせも基準化されつつある。米国などでは、水道水フッ化物添加（これが実施できない場合は食塩へのフッ化物添加またはフッ化物錠剤などのフッ化物全身応用で代替する）とフッ化物配合歯磨剤は、すべての年齢の人々に提供されるべきであり、齲蝕リスクに応じて、フッ化物歯面塗布とフッ化物洗口を組み合わせるという方法に基準化される方向にある中で、2005 年の WHO の見解³⁹⁾は次のように要約される。「すべての人々はフッ化物配合歯磨剤を毎日使用すべきである。齲蝕レベルが中等度以上あるいは齲蝕が増加傾向を示す地域では、水道水、食塩、ミルクからフッ化物を付加すべきであり、水道水フッ化物濃度は 0.5–1mg/L の範囲で選択される。低年齢児が不注意に飲み込むフッ化物配合歯磨剤は歯のフッ素症を増加させるため、ピーサイズ（エンドウ豆大）に限定することを奨励すべきである。」

参考文献ならびに参考資料

- 1) 日本歯科医学会医療環境問題検討委員会フッ化物検討部会（須田立雄部会長）：フッ化物応用についての総合的な見解. 平成 11 年 11 月 1 日.
- 2) 花田信弘、宮武光吉：21 世紀における国民健康運動（健康日本 21）について. 口腔衛生会誌、50：410–418、2000.
- 3) ライオン株式会社広報部：オーラルケアの基本は「予防」. LION オーラルケア情報、No. 1：6、2004.
- 4) 日本口腔衛生学会フッ化物応用委員会報告：「わが国の幼児期ならびに学齢期におけるフッ化物配合歯磨剤の使用状況」. 口腔衛生会誌、53：611–614、2003.
- 5) 植松道夫、古谷みゆき、薄井司文歩、川村和章、中嶋恵美子、荒川浩久：園児、小学生およびその保護者と中学生のフッ化物配合歯磨剤の利用状況に関する調査. 口腔衛生会誌、53：111–120、2003.

- 6) 財団法人 8020 推進財団：歯磨き習慣に関するアンケート調査報告書 ― 学齢期におけるフッ化物配合歯磨剤の使用状況―. 平成 17 年 3 月.
- 7) 厚生労働省医政局歯科保健課編：平成 11 年歯科疾患実態調査報告 第 1 版. 財団法人口腔保健協会、東京、31 頁、2001.
- 8) 財団法人 8020 推進財団：健康日本 21 関連歯科医療施設調査報告書. 平成 16 年 3 月.
- 9) 高江洲義距監修：ガイドブック 21 世紀の歯科医師と歯科衛生士のためのフッ化物臨床応用のサイエンス. 株式会社永末書店、京都、98 頁、2002.
- 10) 中川雅晴：口腔という環境におけるチタンの問題点. 日歯医師会誌、58：531-541、2005.
- 11) 小瀬木克英、小田 豊、住井俊夫：フッ化物配合齲蝕予防剤によるチタンおよびチタン合金の腐食に関する研究. 歯科学報、96：293-304、1996.
- 12) 小田 豊：バイオマテリアル“チタン”は腐食・変色しないか？. 日歯医師会誌、55：1167-1176、2003.
- 13) Watanabe I, Watanabe E: Surface change induced by fluoride prophylactic agents on titanium-based orthodontic wire. Am J Orthod Dentofacial Ortho, 123:653-656, 2003.
- 14) 内山敏一、田口千恵子、早川 徹、水野恭子、山内里央、有川量崇、後藤田宏也、小林清吾：フッ化物臨床応用と純チタン及びチタン合金の反応性に関する研究報告. 口腔衛生会誌、54：415、2004.
- 15) 医政発第 114002 号、健発第 114006 号：フッ化物洗口ガイドラインについて. 平成 15 年 1 月 14 日.
- 16) 木本一成、晴佐久 悟、田浦勝彦、志村匡代、藤野悦男、山本武夫、葭原明弘、磯崎篤則、荒川浩久、小林清吾、境 脩：日本における集団応用でのフッ化物洗口に関する実態調査 ―「健康日本 21」における 2005 年中間評価に向けて―. 口腔衛生会誌、55：199-203、2005.
- 17) 安藤雄一：フッ化物洗口の普及に関する実態調査. 平成 14 年度厚生労働科学研究総括・分担研究報告書「歯科保健水準を系統的に評価するためのシステム構築に関する研究」. 105-118 頁、2003.
- 18) 「厚生労働科学研究（歯科疾患の予防技術・治療評価に関するフッ化物応用の総合的研究班）」、「日本口腔衛生学会」：薬害オンブズパーソン会議意見書に関する解説. 平成 14 年 7 月 25 日.
- 19) WHO Expert Committee on Oral Health Status and Fluoride Use: Fluoride and Oral Health. WHO Technical Report Series 846, pp33, 1994.
- 20) 日本口腔衛生学会フッ化物応用研究委員会：就学前からのフッ化物洗口法に関する見解. 口腔衛生会誌、46：116-118、1996.

- 21) Sakuma S, Ikeda S, Miyazaki H, Kobayashi S: Fluoride mouth rinsing proficiency of Japanese preschool-aged children. *Int Dent J* 54:126-130, 2004.
- 22) Fast track summaries. *Int Dent J* 54:117-118, 2004.
- 23) 石川 昭、児玉恭代：ミラノール[®]によるアレルギーが疑われた症例。口腔衛生会誌、54：81-86、2004.
- 24) 石川 昭：ミラノール[®]によるアレルギーが疑われた女兒にパッチテストを試みて。口腔衛生会誌、55：194-198、2005.
- 25) 学会報告：矯正歯科治療等における口腔衛生管理に関する提言（報告）。口腔衛生会誌、54：162-164、2004.
- 26) 花田信弘 編集代表：新しい時代のフッ化物応用と健康 —8020 達成を目指して—。医歯薬出版株式会社、東京、53 頁、2002.
- 27) 下仁田町役場：フロリデーション水を飲みに保健センターへお出かけください！。広報しもにた 9月号、13 頁、2005.
- 28) FDI Science Commission: New FDI Statement, Fluoride and dental caries. *FDI World* 3:24-26, 2001.
- 29) Peterson P E, Lenson M A: Effective use of fluoride for prevention of dental caries in 21st century: the WHO approach. *Community Dent Oral Epidemiol* 32:319-321, 2004.
- 30) Richard H C (2004). Oral health: Preventing cavities, gum disease, and oral cancers.
[〈http://www.cdc.gov/nccdphp/aag/aag-oh.htm〉](http://www.cdc.gov/nccdphp/aag/aag-oh.htm) [2004, Sep 15] .
- 31) Carmona R H (2004). Surgeon general statement on water fluoridation
[〈http://www.odc.gov/OralHealth/pdfs/Sgstatement.pdf〉](http://www.odc.gov/OralHealth/pdfs/Sgstatement.pdf) [2004, Oct 10].
- 32) The British Fluoridation Society, The UK Public Health Association, The British Dental Association, The Faculty of Public Health: One in a million, The fact about water fluoridation, 2nd edition 2004
[〈http://www.bfsweb.org/one%20in%20a%20million.html〉](http://www.bfsweb.org/one%20in%20a%20million.html) [2004, Sep 15] .
- 33) Richard H C (2004). Oral health: Preventing cavities, gum disease, and oral cancers.
[〈http://www.cdc.gov/nccdphp/aag/aag-oh.htm〉](http://www.cdc.gov/nccdphp/aag/aag-oh.htm) [2004, Sep 15] .
- 34) Marinho V C C, Higgins J P T, Sheiham A, Logas S: Topical fluoride (toothpastes, mouthrinses, gels or varnishes) for preventing dental caries in children and adolescents (Cochrane Review)
[〈http://www.cochrane.org//cochrane/revabstr/ab002782.htm〉](http://www.cochrane.org//cochrane/revabstr/ab002782.htm) [2004, Oct 10] .

- 35) Marinho V C C, Higgins J P T, Sheiham A, Logas S: One topical fluoride (toothpastes, mouthrinses, gels, or varnishes) versus another for preventing dental caries in children and adolescents (Cochrane Review) [〈http://www.cochrane.org//cochrane/revabstr/ab002780.htm〉](http://www.cochrane.org//cochrane/revabstr/ab002780.htm) [2004, Oct 10] .
- 36) Marinho V C C, Higgins J P T, Sheiham A, Logas S: Combinations of topical fluoride (toothpastes, mouthrinses, gels, varnishes) versus single topical fluoride for preventing dental caries in children and adolescents (Cochrane Review) [〈http://www.cochrane.org//cochrane/revabstr/AB002781.htm〉](http://www.cochrane.org//cochrane/revabstr/AB002781.htm) [2004, Oct 10] .
- 37) 文部科学省：「生きる力」をはぐくむ学校での歯・口の健康づくり．社団法人日本学校歯科医会、東京、19-20 頁、2005.
- 38) 厚生労働省医薬食品局長：処方せん医薬品などの取扱いについて（薬食発第 0330016 号）、平成 17 年 3 月 30 日.
- 39) Jones S, Burt BA, Petersen PE, Lennon MA: The effective use of fluoride in public health. Bull World Health Org 83:670-676, 2005.

Ⅲ. 歯科医療に影響を及ぼす環境因子について —電磁波の生体への影響—

電磁波とは電界および磁界の振動が真空中や物資中に伝搬する波動の総称である。

電流の流れているところに常に電場と磁場が存在し、電磁波の状態によりそれぞれ定常(直流により生じる)と変動(交流)に分けられる。このうち変動電場や磁場は、超低周波(300Hz以下でExtremely Low Frequency, ELFと呼ばれる)が多く研究されているが、人に対する影響は不明な点が多い。

また近年は携帯電話の800MHz以上の高周波領域での影響も重要視され研究された。しかし、いまだ明確な影響は明らかにされていない。

1. 電場の影響

静的な電場は布でプラスチックをこすって髪の毛が立つような状態のときをいい、このような電場の強さは目安として10cm離して対面した金属板に100Vの電圧をかけたとき1kV/mの電場に相当する¹⁾。

自然界の電場としては雷雲などのようなものがあり、地表で3~20kV/mになる。また、送電線の付近には交流の電場が生じており、地上1mの所で0.1~3.0kV/mといわれている²⁾。

1.1 生物学的作用

1) 動物への影響

高周波領域に属する強い電波に曝露されると熱発生が起こる。この性質は電子レンジに利用されている。高周波の電磁波の生体影響に関する研究のほとんどが、この熱的影響に基づく研究である。遺伝子への影響に関しては強い電磁波を照射することによる熱作用に起因するものと考えられ、確たる証拠は今のところ見つかっていない。

非熱作用に関する生物学的研究については非常に数が少ないが、たとえば、がんに関して2,450MHzの電磁波によるマウスの腫瘍の成長率が低下したとの報告³⁾がみられるが、その後の動物実験で確認されていない。このような電場の影響の実験は主にラット、マウス^{4, 5)}、昆虫(ミツバチ)⁶⁾、鳥(ヒヨコ)⁷⁾等が用いられている。しかし、発生源から距離の2乗で減少するため、実験動物を一定値内に保持することが難しいことから有害かどうかの判定が困難である。また、電気化学的な作用として電場と神経系⁸⁾や循環系⁹⁾、成長発育¹⁰⁾、生殖能力¹¹⁾等が調べられている。ただし、100kV/m以上の電場では毛髪への刺激、コロナ放電等のため実験が不可能となる。

各臓器への影響ではウサギの膵臓のカルシウムの流出¹²⁾、神経機能¹³⁾および

記憶力に関する調査¹⁴⁾、神経活動に関する研究¹⁵⁾などが行われているが、健康への影響があるという確たる証拠は見つかっていない。

2) 人への影響

これまで実施された、人に対する疫学調査では、一般人より強いレベルの電波を浴びる可能性がある職業人を対象としたものとして¹⁶⁾、高压電線の周辺に住む人^{17,18)}、携帯電話の利用者を対象としたもの¹⁹⁾などがみられるが、必ずしも個人曝露量が正確に把握されていない。したがって、健康への影響として結論を出すに至っていない。

一方、悪性腫瘍をはじめとする健康への影響に関する疫学調査として、今後、社会的関心の高い携帯電話の利用による脳腫瘍、聴覚神経腫瘍、唾液腺腫瘍、白血病など各種の疾患の増加との関係を見る必要があると考えられる²⁰⁾。

1.2 携帯電話について

前記したように高い周波数の携帯電話等の電場が生体へ影響するかも知れないという危惧から、電波防護指針²¹⁾では300MHzから3GHzで管理環境下(条件Pといわれ:電波防護指針に基づき電波利用が可能な条件で防護対象を特定でき、注意や回避動作等ができる)で、四肢以外 $20\text{mW}/\text{cm}^2$ (800MHzで $2,000\text{kV}/\text{m}$ に相当、ただし、これは実測値で携帯電話で $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 出力のとき $100\text{kV}/\text{m}$ を表示したための換算値であるが、 kV/m 単位は50Hz校正してあるため、この実測値にはかなりずれがあると考え)以下、頭部で $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下、一般で(条件G:条件Pを満たさないとき) $4\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下、頭部で $2\text{mW}/\text{cm}^2$ (800MHz)、3GHz~300GHzでは体表面においてPの条件で $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 、眼で $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 、Gの条件で体表面では $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 、眼で $2\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下等の要件を満たすことが必要であるとしている。

1.3 各種医用機器への電波の影響¹⁹⁾

1) 医療機関の屋内

ここでは携帯電話端末から発射される電波により医療用電気器具が誤動作する可能性があるため、次のように取り扱うことが望ましい。

手術室、集中治療室及び冠状動脈監視病室(CCU)などへ携帯電話端末を持ち込まないこと。やむを得ず持ち込む場合は電源を切ること。また、これらの周囲においても同じである。ここでいう携帯電話はアナログの800MHzで出力0.6W以下とデジタルの800MHzで出力0.8W以下、1.5GHz、出力0.8W以下のものをいう。

2) 検査室、診療室、病室、処置室

これらの室内には医用電気機器が多数設備されていることが多く、また、医用電気機器を装着した患者が施設内を移動する可能性があるため携帯電話の電源を切ることが望まれる。

その他の区域、待合室等では携帯電話の端末を使用するときは、特に定められた区域でのみ使用可能とすること。携帯電話端末の電源を入れた状態では、通

話中以外でも自動的に電波を発射することがあるので注意が必要である。

小型無線機は携帯電話端末に比較して医用機器に影響与える可能性が高いため、医療機関の屋内及び医用機器周辺では、緊急時災害時を省き持ち込まないこと。

3) PHS 端末、コードレス電話

これらは出力が携帯電話の 1/10 以下で影響は比較的小さいものの、これを機器に近づけた場合には誤作動する可能性があるため PHS 端末でも医療機器に近づけない方がよい。

4) 埋め込み型心臓ペースメーカー装着者

埋め込み型ペースメーカーの近くで携帯電話端末、コードレス電話等の無線を使用したとき、これらの影響を受ける可能性がある。特に、埋め込み型心臓ペースメーカー装着者は外見で特定できないため、満員電車等で特に使用を気をつけなければならない。また、アナログ方式よりデジタル方式の方が出力が大きく携帯電話の影響を受けやすいことが確認されている。その影響は一時的かつ可逆的であるが、次の事項を守ることが望ましい。すなわち、携帯電話端末を使用するときはペースメーカーの装着部から 22 cm 以上離すこと、自動車電話やショルダーホンからは 30 cm 以上離すこと等を守る必要がある。PHS 端末は携帯電話と同様の注意が必要である。

5) 在宅医療

人工呼吸器、酸素濃縮装置等の医療機器を用いている場合、少なくともこれらが使用されている部屋の中においては、携帯電話端末等の発生源の電源を切ることが望ましい。

6) ICNIRP (国際非電離放射線防護委員会) の連続曝露制限値では電界 (V/cm) として 60Hz (50Hz) で、一般人 42 V/cm (4.2 kV/m に相当) (50Hz で 50 V/cm)、職業人で 83 V/cm (8.3 kV/m に相当) (50Hz で 100 V/cm)、以下としている。

1.4 歯科における電場

歯科用機器から発生する電場としてはレジン重合用の電子レンジ、寒天コンディショナー、高周波遠心鑄造機、バイブレーター、光照射器本体など表 1 に示したような機器で見られる。一方、光照射器の光源部、酸性水生成器、エアタービンのコントローラー部分、ハンドエンジンのモーター部分、卓上蛍光灯、ウォーターピック、電動歯ブラシ、超音波タイプの電動歯ブラシ、歯科用レントゲン、歯科用電気炉、高周波誘導加熱装置本体などでは計測できないほど小さいことがわかった。

表 1²²⁾ から比較的強いものをみると電子レンジで 100kV/m、寒天コンディショナーで 3.5 kV/m、高周波誘導加熱装置(出力 100kW)のコイル近くでは 1.5m 離れて 100 kV/m の強い電場が認められた。また、高周波鑄造機では本体に密着状態で 15kV/m が観測されたが 10 cm 離れると 1kV/m となり、これ以上離ればほとんど

測定不能で問題なかった。一方、超音波洗浄器の本体発振部は密着状態で 100kV/m と強いが 10 cm 離れると 150W 出力の機器で 2kV/m、400W 出力のもので 10 kV/m と少なくなるが出力の大きい方が影響が大きかった。歯科でよく用いられるバイブレーターのハイ (H) の条件ではバイブレーターに密着させると 1.0 kV/m の電場が測定されたが、高周波加熱装置のコイル部に比べれば、これら機器は弱いものであった。

携帯電話では機種による差は認められるが携帯電話に密着させると測定不能なほど強く 800MHz で 100 kV/m 以上、10 cm 離して 17.2kV/m になる。これに比較すれば臨床で使用される歯科用機器のほとんどのものはこれ以下で、携帯電話で問題なければ歯科用機器類で問題になる機器はないといえる。

2. 磁場の影響

磁場は磁力線によって表示でき、電流が流れているところに常に存在する。これらは定常磁場 (直流) と変動磁場 (交流: 時間変化磁場) に分けられる。このうち定常磁場は永久磁石の周囲、または直流の電流によって作られる。

磁場の自然発生的なものとして地球磁場 ($50 \mu\text{T}$ (0.05mT) 以下) がある。生物の中には地球磁場に対して感受性を示す生物も存在する。例えば磁気趨性細菌の方向維持、渡り鳥の移動、ミツバチの揺れ動く踊りなどである²³⁾。

定常磁場と変動磁場の両者とも、主として電荷を持って動いているものに対して力を及ぼす。その際、電場および電流を発生させる。この相互作用は血流に磁気が作用することによって誘起される電力が基本となっている。

定常磁場において、生体中では臓器により抵抗が大幅に異なるため、磁場中で生体が移動また動きを伴った場合に電流が発生し、影響の表れることが考えられる。すなわち、生体組織や細胞外液に自然に発生している電流の水準より、十分に大きな電流を発生させ得るほどの強さの磁場や磁場変化が生じたとき影響が表れる。

変動磁場 (時間変化磁場) はファラデーの誘導の法則に従って生体組織に渦電流を発生させる。電気的な刺激に反応しやすい組織に対する種々の作用がみられ、磁気光視を発生させるような視力感覚に対する刺激が著名である²³⁾。

2.1 人に対する影響

1) 定常磁場

生体は 2T 以下では非可逆的な作用は起こらないといわれている。

アメリカにおける最近の疫学的研究によると 2T (2,000mT) 以下の定常磁場を長期間作用させても健康に対する有意の影響を生み出すことができなかった²⁴⁾。

2T (2,000mT) 以上の磁場を作用させた場合には、人体の健康に障害となる可能性があるかどうかについての決定的な証明はない。理論的な考察といくつかの実

験的な結果から、5T以上の磁場を作用させた場合は、短時間であっても健康に対し著名な障害となる影響が出る事が予測される²³⁾。

2) 変動磁場

変動磁場中では生体内に渦電流が発生する。この原理は生体では動いている電解質との電氣的相互作用、すなわち血流に磁気が作用することにより誘起される起電力が基本となる。この変動磁場は1.3T/s以上のパルス磁場または15~50Hz、2~10mTの磁場により生体に電流（渦電流）を発生させる。これは磁気光視を発生させるような刺激となる。一方、0.3mTの比較的強いパルス磁場は創傷治癒や組織再生を促進させるとしている²³⁾。

MRI (Magnetic resonance imaging) は2T(2,000mT)の定常磁場と勾配をもつ磁場を急激に切り替えることにより最大20T/s(20,000mT/s)の変動磁場が発生する。この状態では内部電流が発生する。例えば時間変化の度合いが3T/s(3,000mT/s)の磁場は人の頭の周辺に約30 mA/m²の密度の電流を発生させる。正弦波の磁場の磁束密度については、次のようなことが言える。

1~10 mA/m²の密度の電流(この電流密度は50~60 Hzで0.5~5.0mTまたは3 Hzで10~100mTの磁場によって誘起される)では軽微な生物的作用が報告されている。

10~100 mA/m²の密度の電流(この電流は50~60 Hzで5~50mT、3Hzで100~1,000 mTの磁場によって誘起される)は視覚(磁気光視)および神経系に対する作用を含め十分に確立された効果を生じる。骨折の再癒合の改善がみられる。

100~1,000 mA/m²の密度の電流(50~60 Hzで50~500mTまたは3 Hzで10T以上の磁場によって誘起される)は電氣的に興奮しやすい人に刺激効果が認められる。健康上の障害となる可能性がある。

1,000 mA/m²以上の電流密度(50~60 Hzで500 mT以上、3 Hzで10T(10,000mT)以上の磁場によって誘起される)は心臓に期外収縮および心室細動を起こさせる。すなわち急性の健康障害が認められる²³⁾。

3) 循環系の内部における起電力

時間変化率が1.3T/s(1300mT/s)のパルス磁場および時間変化磁場、または15~60 Hzで磁場の強さが2~10mT(周波数依存性がある)の磁場によって磁気光視が誘起される。一方、パルス磁場として創傷治癒に平均磁場0.3mTで最大が約2.5mTを与えることによって組織の再生が促進されるとしている²³⁾。

しかし、磁場の影響を系統的な方法で解明することはかなり困難をとまなう。その理由は、

①磁場の強さ、周波数、波形、作用時間の範囲が広すぎる。

②ELF磁場の生物学的研究で別々の場所で無関係に追試されたものがない。などのため、現在はっきりしているのは磁気光視(magnetophosphenes)現象²⁵⁾

とパルス磁場による骨折の治癒の促進のみである²⁶⁾。

国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) の連続曝露制限値は 60Hz の場合一般人で 833 mG (0.0833mT) (50Hz で 1,000mG=0.1mT)、職業人で 4167 mG(0.4167mT) (50Hz で 5,000mG=0.5mT) 以下としている。

市販機器の磁束密度を調べると表 2 のようになる³⁾。

2.2 歯科における磁場

歯科でも電気を使用するあらゆる製品で電場と磁場が生じる。磁場はすでに調べられており、15 cm と 40 cm の距離でいろいろな歯科用機器について表 3 に示した (単位は μT である) 結果が得られている²⁷⁾。これからみると最大のものは光照射器の本体で 19.9 μT (0.0199mT) 以上、次が CO₂ レーザーの本体部で 2.65 μT (0.00265mT) であるとしている。

次に、最近調べられたものを表 4 に示した²²⁾。これらから磁場はあらゆる歯科用機械で発生しており、しかも 0 cm (密着) させたとき光照射器 (ESPE) の本体、バイブレーター (ジーシー、吉田)、高周波誘導加熱装置等で今回使用した測定器で測定不能 (511mG 以上 (0.0511mT)) となるほど強い器具も認められた。しかし、10 cm 離せばジーシーのバイブレーターの High で 205mG (0.0205mT)、吉田のバイブレーターの High で 425mG (0.0425mT)、高周波誘導加熱装置 (10kW、100kHz) のコイルから 10 cm で 434mG となりかなり小さくなるのがわかる。しかし、バイブレーターはかなり強い磁場が発生しており、ジーシーのものを他の機器の交流レンジで計測すると密着で 3.0mT にもなる。また、ESPE の光照射器の本体で 511mG 以上 (他の機器の交流計測で 4.5mT) が今回の機器中では最も高い値を示した。しかし、これも 10 cm 離れば 0.0125mT と大幅に下がる。一方、電動ハブラシでも超音波タイプのもの (ソニーケア) で 176~185mG (0.0176~0.0185mT) とかなり強い磁場の発生がみられた。これら電動ハブラシの中には心臓ペースメーカーに影響するかもしれないほど強いものもみられるとしている²⁸⁾。また、モーターを使用するハンドエンジンのコントローラー本体で 166mG (0.0166mT)、ジーシーの光照射器の光源部で 38.9mG (0.00389mT) 等の磁場が認められた。

歯科用アタッチメントは磁力で義歯の安定を得るための装置であり、磁力が強力なほど良いためネオジウム磁石が用いられ、0.9mT の定常磁場が認められた。

3. 今後の課題

電場では WHO の見解で 10kV/m (100 V/cm) 以下では立入制限の必要なしとしている²³⁾。また、経済産業省令では 3kV/m (30V/cm) 以下と厳しくなっており、機器に密着させたとき、これに抵触するものもみられるが、前記の携帯電話の強い電波をどう考えるかが最も気がかりなところであり、通話を一時的なものとして考え、これをよしとするならば歯科での今回の機器では高周波加熱装置等大型機

器を操作する専門職以外、歯科用の機械はほとんど一時的な使用が多く問題ないといえる。

一方、磁場ではWHOの見解で5,000mG (0.5mT) 以下では有害な生物学的影響はないとしている²³⁾。これからみれば今回測定したもののうちバイブレーターの密着状態で2.5mTであるが、10 cm離れて0.1mTで、作業する手の位置では0.2~0.3mTでWHOの基準より低いことになる。また光照射器本体でも密着で4.5mTであるが、本体に接触し続けることは作業場ほとんどなく、5 cm離れば0.3mTとなり急激に減少するため問題はないと考える。このようにみれば、いずれの歯科用機器も実際の使用状態で問題ないといえる。しかし、患者の立場になるとMRIの検査を受けるときに、口腔内に義歯の安定を保つためのアタッチメントとして磁石を使用すると検査不能に陥ることがある。したがって、これらは生体側にはキーパーを付け磁力を持つ磁石構造体は、義歯床に埋め込むことを確実に実施していかなければならない。また、歯科用金属はキーパーの様な強磁性体のものは少ないが、もし磁性体が補綴または装着されていると撤去を余儀なくされることも考慮して非磁性金属材料を修復物として使用することを推奨すべきであろう。

表1 歯科でよく用いられる機器の電場 (kV/m) ²²⁾

機器	Type	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm
バイブレーター	ジーシー R-1	H 1.0	0	0	0
		M 0.7	0	0	0
		L 0.2	0	0	0
電子レンジ 500ml水入	SANYO EM535	100	14	11	0.9
電磁調理器	シャープ CY103	100	25	5	2
携帯電話 (呼出時)	D211i	100 以上	17.2	12	1.1
携帯電話 (呼出時)	N252i	100 以上	50	25	15
寒天コンディショナー GEL-CON	松風 SGC-E	3.5	0.8	0	0
高周波コイル部より (10kW 通電中)	60g Ag 合金	1.5m で 100			
発電機	本田 EX300	5 cm で 100	7	1.5	
超音波洗浄器	CLCMPULSE 400-28F (400W)	100	10	1	0.3
高周波鑄造機	松風 アルゴンキャスター T	15	1	0.1	0
光照射器	ESPE ライト部分	2.0	0	0	0
超音波洗浄器	IUCHI VS-150 (150W)	100	2	0.7	0.1

測定機器 TRIFELD METER magneticfield(0~100mG)、electricfield(0~100kV/m) radio/microwave(0~1mW/cm²)

表2 米国における60Hzの電気器具周辺での磁束密度³⁾

電気器具	種々の距離における磁束密度 (μ T)		
	3 cm	30 cm	1 m
缶切り	1,000 ~ 2,000	3.5 ~ 30	0.07 ~ 1
ヘアドライヤー	6 ~ 2,000	<0.01 ~ 7	<0.01 ~ 0.3
電気かみそり	15 ~ 1,500	0.08 ~ 9	<0.01 ~ 0.3
サーベル鋸、丸鋸	250 ~ 1,000	1 ~ 25	0.01 ~ 1
ドリル	400 ~ 800	2 ~ 3.5	0.08 ~ 0.2
電気掃除機	200 ~ 800	2 ~ 20	0.13 ~ 2
ミキサー	60 ~ 700	0.6 ~ 10	0.02 ~ 0.25
蛍光机上燈	40 ~ 400	0.5 ~ 2	0.02 ~ 0.25
ごみ処理機	80 ~ 250	1 ~ 2	0.03 ~ 0.1
電子レンジ	75 ~ 200	4 ~ 8	0.25 ~ 0.6
取付式蛍光灯	15 ~ 200	0.2 ~ 4	0.01 ~ 0.3
電気調理器具	6 ~ 200	0.35 ~ 4	0.01 ~ 0.1
ポータブルヒーター	10 ~ 180	0.15 ~ 5	0.01 ~ 0.25
ブレンダー (混合器)	25 ~ 130	0.6 ~ 2	0.03 ~ 0.12
テレビジョン・セット	2.5 ~ 50	0.04 ~ 2	<0.01 ~ 0.15
電気オーブン	1 ~ 50	0.15 ~ 0.5	0.01 ~ 0.04
洗濯機	0.8 ~ 50	0.15 ~ 3	0.01 ~ 0.15
電気アイロン	8 ~ 30	0.12 ~ 0.3	0.01 ~ 0.025
扇風機、送風機	2 ~ 30	0.03 ~ 4	0.01 ~ 0.35
コーヒーメーカー	1.8 ~ 25	0.08 ~ 0.15	<0.01
皿洗い機	3.5 ~ 20	0.6 ~ 3	0.07 ~ 0.3
トースター	7 ~ 18	0.06 ~ 0.7	<0.01
電気湯沸しポット	1.5 ~ 8	0.08 ~ 0.15	<0.01
衣類乾燥機	0.3 ~ 8	0.08 ~ 0.3	0.02 ~ 0.06
冷蔵庫	0.5 ~ 1.7	0.01 ~ 0.25	<0.01

表3 稼動状態での電磁波測定値²⁷⁾

計測対象機器 (ON 時)	計測対象機器からの距離	
	15 cm	40 cm
超音波スケーラーENAC (ハンドピース部：目盛り 10)	0.03±0.00	0.02±0.00
無影灯 (スイッチ部) ハイルクミニ	0.08±0.01	0.03±0.00
エアタービン (ハンドピース部) オサダトロン	0.03±0.01	0.02±0.00
パーソナルコンピュータ (本体部) MATE, NX	0.03±0.00	0.02±0.00
超音波洗浄器 SUC-110 (本体部)	1.41±0.09	0.02±0.01
CO ² レーザー OPELASER-OS (パネル部：1.0watt、cw)	2.65±0.19	0.02±0.01
CO ² レーザー OPELASER-OS (チップ部)	0.04±0.01	0.02±0.01
光照射器 OPTILUX500 (電源部：on、照射中)	>19.9 (測定不能)	0.02±0.01
光照射器 OPTILUX1040 (電源部：on、照射中)	1.58±0.79	0.09±0.00
電動メス MINITON MD30 (電源部)	0.04±0.03	0.01±0.00
バイブレーター-VIBRATOR R-II (本体部)	1.11±0.13	0.47±0.21

単位：μT (マイクロテスラ)

表4 歯科用機器の磁場 (mG)²²⁾ (すべて通電、稼動時)

機器	Type(メーカー又は部位)	0	10 cm	20 cm	30 cm	
光照射器 (Elipan)	ESPE 照射部	2.7	1.3			
	ESPE 本体	511 以上	96~126	31.5~40.6	15.2~19.1	
		*4.5mT(交流)				
光照射器 (flipo)	ジーシー 照射部	38.9	11	4.4	2.4	
	ジーシー 本体	7.4	2.3	1.6	0.9	
光照射器 LV II	ジーシー 照射部	19.2	2.4	0.8	0.4	
	ジーシー 本体	26.1	2.2	0.7	0.4	
バイブレーター	ジーシー R-1	H 511 以上	205	75	34.7	
		*2.5mT(交流)		*0.1		
		M 511 以上	175	62.1	27.2	
		L 511 以上	190	67.9	29.6	
バイブレーター	吉田スパラ α	H 511 以上	425	153	67	
		M 511 以上	359	127	61	
		L 511 以上	345	116	53.9	
オキシライサー (酸性水生成器)	Redox (出水時)	25.5	10.2	4.9	2.7	
タービン (コントローラー部)	モリタ	19.4~26.4	5.4~6.2	2.2~2.4	1~1.1	
ハンドエンジン	モーター部	20.2	2.7	2	1.6	
UC-200	浦和工業 本体(コントローラー)	166	22.4	6.4	2.9	
電子レンジ 500ml水入	SANYO EM535	102	55.2	30.9	18.8	
電子レンジ	ナショナル NE-A40	50	24	12	7.7	
蛍光灯机上	東芝 20W	75.0(昇圧 チョーク近く)	15.7	4.3	1.9	
ウォーターピック	MODEL 15-3502-209	3.4	1.5	1.1	0.9	
ウルチマ電動歯ブラシ	振動タイプ	1.7	0.4	0.4	0.4	
	無振動タイプ	1.1	0.3	0.3	0.3	
システム電動歯ブラシ	ライオン超音波	1.2	0.4	0.3	0.3	
ソニーケア電動歯ブラシ	Elite 7800	176~185	17.9~20	5.1~9.5	2~3.3	
Prinaia 電動歯ブラシ	ジーシー 音波	29	2.7	0.9	0.5	
Sonibrush	Ame. Dentronics Co. A104	1.9	0.6	0.4	0.3	
Rota-dent	2401466	6.7	2.3	0.6	0.3	
G・U・M	Butler TT52	4.9	1.3	0.4	0.2	

参考文献

- 1) 電磁界の基礎知識.
(<http://www.tepco.co.jp/ps-engineering/denjikai/deno7-j.htm/>)
- 2) 電磁界と公衆衛生、超低周波、試料番号 205、1998 年 11 月.
- 3) BATKIN, S. & TABRAH, F. L, Effects of alternating magnetic field (12Gauss) on transplanted neuroblastoma. *Res. Commun. chem. Pathol. Pharmacol.*, 16:351-362, 1977.
- 4) LEBARS, H. , ANDRE, G. , PUPIN, F. , & LABIE, CH Les effets biologiques des champs électriques-effets sur le rat, le souris, le cobaye. *Rec. Méd. vét.*, 159(10):823-837, 1983.
- 5) CONTI, R. , PREVI, A. , MARGONATO, V. , & VEICSTEINAS, A Progress on the research carried out in Italy by ENEL on the effects of high intensity 50 Hz electric fields. In: *Proceedings of the CIGRE Symposium 22-81, Paris.*, 1981.
- 6) GREENBERG, B. , KUNICH, J. C. , & BINDOKAS, V. P Effects of high-voltage transmission lines on honey bees. In: *Phillips, R. D. , Gillis, M. F. , Kaune, W. T. , & Mahlum, D. D. , ed. Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields. Proceedings of the 18th Annual Hanford Life Sciences Symposium, Richland, Washington, October, 1978, Springfield, Virginia, Technical Information, Center, US Department of Energy, pp. 74-84 (DOE Symposium Series 50, NTIS CONF-781016), 1979.*
- 7) KRUEGER, A. P & REED, E. J, A study of the biological effects of certain ELF electromagnetic fields. *Int. J. Biometeorol.*, 19:194-201, 1975.
- 8) JAFFE, R. A Neurophysical effects in mammals of acute and subchronic exposure to 60-Hz electric fields, Denver, Colorado (Presented at Department of Energy Contractors Review, November), 1982.
- 9) CERRETELLI, P. & MALAGUTI, C. Research carried out in Italy by ENEL on the effects of high-voltage electric fields. *Rev. gén. Electr.*, Numéro spécial (juillet):65-74, 1976.
- 10) PHILLIPS, R. D. , GILLTS, M. F. , KAUNE, W. T. , & MAHLUM, D. D. , ed In: *Biological Effects of extremely low frequency electromagnetic fields. Proceedings of the 18th Annual Hanford Life Sciences Symposium, Richland, Washington, October, 1978, Springfield, Virginia, Technical Information, Center, US Department of Energy, pp. 577 (DOE Symposium Series 50, NTIS CONF-781016), 1979.*

- 11) SIKOV, M. R. , MONGOMERY, L. D. , & SMITH, L. G. Developmental toxicology studies with 60 Hz electric fields. In:Phillips, R. D. , Gillis, M. F. , Kaune W. T. , & Mahlum, D. D. , ed. Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields. Proceedings of the 18th Annual Hanford Life Sciences Symposium, Richland, Washington, October, 1978, Springfield, Virginia, Technical Information, Center, US Department of Energy, pp. 335-347 (DOE Symposium Series 50, NTIS CONF-781016), 1979.
- 12) JOLLEY, W. B. , HINSHAW, D. B. , KNIERIM, K. , & HINSHAW, D. B. Magnetic field effect on calcium efflux and insulin secretion in isolated rabbit islets of Langerhans. Bioelectromagnetics, 4:103-106, 1983.
- 13) SANDER, R. , BRINKMANN, J. , & KUHNE, B. Laboratory studies on animals and human beings exposed to 50 Hz electric and magnetic fields. In: Proceedings of the International Congress on Large High Voltage Electric Systems, Paris, 1-9 September, Paris, CIGRE (CIGRE Paper 36-01). 1982.
- 14) DAVIS, H. P. , MIZUMORI, J. Y. , ALLEN, H. , ROSENZWEIG, M. R. , BENNETT, E. L. & TENFORD, T. S. Behavioural studies with mice exposed to DC and 60Hz magnetic fields. Bioelectro-magnetics, 5:147-164, 1984.
- 15) ABRAMOVICH-POLJAKOV, D. K. , KLEINER, A. I. , OLODUB, F. A. , RAKOVSKAYA, S. P. , NEDBAILS, E. P. , PENOVA, V. N. , SMOLJANOVA, N. S. , TRIKOZA, V. A. , & TEINGERZ, L. A. Clinical characteristics of effects of electromagnetic fields from contact welding. Vrach. Delo, 4:106-119 (in Russian), 1979.
- 16) PEARCE, N. E. , SHEPPARD, R. A. , HOWARD, J. K. , FRASER, J. , & LILLEY, B. M. Leukemia in electrical workers in New Zealand. Lancet, 1(8432):811-812, 1985.
- 17) COLEMAN, M. , BELL, C. M. J. , TAYLOR, H. L. , & THORNTON-JONES, H. Leukaemia and electromagnetic fields:a case control study (Paper presented at the International Conference on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology, London, October, 1985.
- 18) MYERS, A. , CARTWRIGHT, J. A. , BONNELL, J. A. , MALE, J. C. , & CARTWRIGHT, S. C. Overhead power lines and childhood cancer. In: Proceedings of the International Conference on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology, London, October, 1985.
- 19) 不要電波問題対策協議会. 携帯電話端末等の使用に関する調査報告書～医用電機機器への電波の影響を防止するために～. P3～8. 20) 電場防護指針. 諮問第 89 号「電波利用における人体防護の有り方」H9/4/24、24.

- 20) 電場防護指針. 諮問第 89 号「電波利用における人体防護の有り方」
H9/4/24、24.
- 21) 電場防護指針. 諮問第 38 号「電波利用における人体防護指針」P46、H2 年 6 月.
- 22) 吉田隆一：歯科用機械器具の電磁波測定. 歯産学誌. Vol. 18、No. 2、P53、
2004.
- 23) 中川恭一訳 WHO 編：電場・磁場と人体「磁気と生体」研究会. P23, 190, 192,
194. A: Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency
(ELF) Fields, 1984 B: Environmental Health Criteria 69, Magnetic Fields,
1987 C: Health and Safety Guide No. 27, Magnetic Fields, Health and Safety
Guide 1989.
- 24) BUDINGER, T. F. , BRISTOL, K. S. , YEN, C. K. , & WONG, P. , Biological effects
of static magnetic fields (Presented at the 3rd Annual Meeting of the
Society for Magnetic Resonance in Medicine, New York, 4-6 August), 1984.
- 25) SILNY, J. , The influence threshold of the time varying magnetic field in
the human organism. In: Bernhardt, J. H. , ed. Biological effects of static
and extremely low frequency magnetic fields, Munich, MMV Medizin-verlag,
pp. 105-112, 1986.
- 26) BASSETT, C. A. L, Pulsing electromagnetic fields: a new method to modify
cell behaviour of calcified and non-calcified tissues. Calcif. Tissue
Int. , 34:1-8, 1982.
- 27) 関啓介、菅野直之、難波幸一他、歯科用機器からの電磁波の測定：日大歯学
77、359～361、2003.
- 28) 荒川浩久、川村和章、戸田真司他：電動ハブラシからの電磁波の発生、64
回日本公衆衛生学会総会抄録集、P913、於札幌、2005.