原	著
---	---

アマルガム充填表面の光学ならびに電子顕微鏡的観察

林 健 司

神奈川歯科大学保存学教室（主任：岩本次男教授）

東京医科歯科大学保存学教室（指導：総山孝雄教授）

（受付：昭和43年9月9日）

Metallurgical and Electron Microscopic Observation of Amalgam Surfaces

Kenji Hayashi

Department of Operative Dentistry, Kanagawa Dental College

(Chief: Prof. Tsugio Iwamoto)

Department of Operative Dentistry, Tokyo Medical and Dental University

(Director: Prof. Takao Fusayama)

序 論

アマルガム研磨の主な目的は充填物の表面を滑沢にし、かつ腐食抵抗を増すことである。面が滑沢になれば、汚物が附着しにくくなるばかりでなく、活性を帯びた突出部が少なくなるので、その結果腐食抵抗を増す^{1)~9)}。この他に Skinner は研磨をすると、表層部の結晶の方位は乱れ、結晶粒子は微細になり最終的に非晶質の層が形成され、このためにも電気化学的に腐食ささにくくなると述べている¹⁾。その後 Wing はアマルガムは融点が高いので、再結晶を起し易く、研磨しても均質な構造を保つことはないと報告した^{10), 11), 12)}。

本実験ではアマルガムの研磨が表面の形状についても、表層の金属学的構造についてもいかなる効果を生ずるかを確認するために、アマルガム表面を削成したもの、更にバーニッシュしたもの、仕上げたものと及び研磨したものについて、その断面の結晶粒子を光学顕微鏡により観察し、またその表面を電子顕微鏡により立体的に観察した。

他方従来ほとんどすべての教科書や論文はアマルガムは填塞されて硬化するまで1日ないし数日を要するため、研磨も1日ないし1週間後に行われるべきであるとしている^{1)~9), 13), 14)}。これは恐らく填塞直後には軟かくて研磨しえないし、効果も得られないとの考えのもとづくものであろう。ところが著者らは先の実験で、填塞直後にバーニッシュした面のアラサは後になつても、しなかつた面よりはるかに滑沢であることを発見した^{15), 16), 17)}。しかしその面は研磨した面より荒かつたし、また1 μ 程度のアラサをもつたステンレス・スチール製の隔壁に接して填塞されたアマルガム面もやはり数 μ のアラサをもつていた。このことはバーニッシングや隔壁への接触によつてきわめて滑沢になつたアマルガム面が、その後の結晶生成によつて少し荒れてきたことを疑わしめるものである。

そこで本実験では填塞直後にバーニッシュしたアマルガム面を経時的に観察記録し、きわめて興味ある知見をえた。

実験法

試片調整

市販の削片状無亜鉛合金(松風マイクロアロイ)と球状合金(松風スフェリカルアロイ)を使用し、臨床的に最も広く行われている方法で填塞した。すなわち削片型合金では合金:水銀比を1:1にとり、G・C社製ルナII B ミキサーで20秒間練和し、球状合金では1:0.85の合金水銀比で松風社製スフェリカル用アマルガムミキサーで20秒間練和した。これらの練和泥は削片状では径3mmのバチ型ポイントをつけたアマルパックで、また球状合金では径2mmならびに4mmの円頭を有する手用充填器を交互に使用して内径5mm、高さ4mmの塩化ビニール製モールドの中に填塞された。填塞圧は滑車を利用した圧力規制装置で、削片状は2kg また球状合金は1kgに規制された¹⁸⁾(図1)。

図1 填塞圧力規制装置

試料の表面は次の4種の方法で処置され、その結果が比較された。

- 1) 填塞直後カミソリにより削成した。
- 2) 填塞直後パーニッシュを行なった。
- 3) 填塞後24時間以上経てから、フィニッシングバーにより仕上げを行なった。
- 4) 更に浮石末泥および亜鉛華泥をそれぞれブラッシコーンおよびラバーカップにつけて研磨を行なった。

光学顕微鏡による断面写真

上記の試料はポリエステル系樹脂リゴラックの中に埋入し、荒砥石にて試料の中央部まで、削除して縦断面を作った。次にシリコンカーバイドペーパーをNo. 200, 500, 600と荒い方から順に、平面ガラス板上に置き、発熱を避けるために流水下にこの面を研削し、更に径4 μ のダイヤモンドペーストで荒磨きをし、径1 μ のダイヤモンドペーストを使ってバフ上で手で軽く圧接しながら研磨した。この面を四塩化炭素にて脱油し、青ルージュの上澄みでバフ研磨し、最終的には水で試料を軽くバフに触れさせながら研磨を行なった。

腐食は30%硝酸による腐食ならびにWingによるdouble etch法¹¹⁾すなわち8%のKCN 25mlに1gのIを入れた溶液をアマルガム表面に塗布し、次に第2液は10%アンモニア水と10%フェリシアン化カリを等量づつ混合した溶液の中に浸漬する方法を行なった。30%硝酸を使用する方法は残留合金 γ とmatrixとを区別するには有効であつたが、matrixの結晶粒界を明らかにすることはできなかった。ところが前述のdouble etch法によると γ とmatrixを区別できる他、matrixの結晶粒界を明確に出すことができた。従つて本実験ではこの方法で腐食を行なった。

この縦断研磨腐食面をオリンパス社製光学顕微鏡MODEL-FHにより検鏡し、写真を撮影した。

電子顕微鏡による観察

各試片表面を分解能150Å、拡大倍率100~100,000倍、走査線数500本を有する日本電子社製J. S. M. 走査型電子顕微鏡を用いて、拡大倍率1,000倍で観察し写真を撮影した。またパーニッシュした直後と1週間後の面を拡大倍率1,000倍で、またパーニッシュ後15分から1時間にわたる経時的变化を拡大倍率3,000倍で撮影した。

成績

1. 面アラサと空孔

図2, 3は削片状ならびに球状合金によるアマルガム表層部断面の顕微鏡像を示すものである。

填塞直後に削成したままの表面は削片状合金で

図2 削片状アマルガムの表層部断面顕微鏡像

F-C 削成面 F-B パーニッシュ面 F-F 仕上げ面 F-P 研磨面

も球状合金でも、ともに著しく荒れて大きな凹凸を示していた。削成表面直下にはかなり多数の空孔が認められた。

削成後パーニッシュした面は、削成面よりもはるかに滑沢であつた。しかし細かく見ると、合金粒子がかき取られたような感じの小さな凹みが所々散在し、かような凹みはむしろ球状アマルガムの方に多かつた。

パーニッシュ面の下では、削成面下に見られたような空孔は、特に最表層ではほとんど消失し、

その下層においても、小さいものが少数ある程度であつた。

仕上げ面は全体に平坦であつて、きわめて細かい凹凸がある程度であり、研磨面ではかような凹凸も殆んど消失していた。これら仕上面や研磨面の面アラサについては、削片状合金と球状合金とのアマルガムの間に特別の差が見られなかつた。

2. 結晶粒子の大きさ

図2, 3に見られるように、未反応の γ 粒子は著しく大きく、その間を埋める間質の γ_1 , γ_2 の微

図3 球状アマルガムの表層部断面顕微鏡像

S-C 削成面 S-B バーニッシュ面 S-F 仕上げ面 S-P 研磨面

細な結晶と明らかに分れていた。特に球状合金によるものは、 γ の球状の粒子が比較的大きく、明確な形で認められたが、削片状合金によるものは γ 粒子が不規則形で球状合金によるものほど境界も明瞭でなくしかも比較的小さな粒子に粉碎されているものが多かった。

γ 粒子の大きさは、表層とその直下あるいはアマルガム塊の中心部（図4）との間に、特別な差が認められなかったが、バーニッシュ面の表面には比較的小さい粒子のみが集まっていた。

γ_1 と γ_2 との結晶粒子の大きさは、600倍拡大写真上で、その間質部のみを含む 1cm^2 の代表的な2個所の面積中に含まれる結晶粒子の数の総計によつて比較した。その測定は各試片の表層（表面から 10μ まで）、内層（表面から 10μ 以上入ったところ）、および中心部（表面から約 2mm 入ったところ）で行ない比較した。各部の γ_1 , γ_2 の結晶の数は表1のようであつた。

表で見られるように、間質の結晶粒の数すなわち平均的な粒子の大きさは、削片状合金によるも

図4 削片状, 球状アマルガムの中心部断面顕微鏡像

F 削片状アマルガム

S 球状アマルガム

表 1. 600倍拡大写真上で, 間質部のみを含む
2 cm² の面積中に認められた γ_1 , γ_2 の
結晶粒子数

	面 の 種 類	結 晶 粒 子 数		
		表層部	内層部	中心部
削 片 状 合 金	削 成 面	19	18	20
	バーニッシュ面	20	19	
	仕 上 げ 面	21	18	
	研 磨 面	17	20	
球 状 合 金	削 成 面	17	18	19
	バーニッシュ面	22	20	
	仕 上 げ 面	19	20	
	研 磨 面	18	19	

のと, 球状合金によるものとの間に差がなく, 表層, 内層, 中心部の間にも差がなく, 削成面, バーニッシュ面, 仕上げ面, 研磨面の間にも特別な差が認められなかった。

3. アマルガム面の立体的構造

アマルガム面の立体的形状は, 走査型電子顕微鏡像によって図5, 6のように観察された。

削片状合金と球状合金とのいずれによるアマルガム試片も, その削成されたままの面には, 大きな熔岩状の凹凸が見られ, しかもその起伏は大きなウネリを有しているようであった。

填塞直後にバーニッシュした面の1日後のものは, 削成面よりはるかに細かいものであったが, 全面的にほぼ均等な粒状の微細な凹凸を示していた。

仕上げ面では, かような規則的な凹凸は認められなかったが, 仕上げ用バーによると思われる同一方向に走るキズが認められた。研磨面でも同様にキズが認められたが, 仕上げ面で見られたよりはいつそう細かくなっていた。なお削片状アマルガムの仕上げ面や研磨面には, バーニッシュ面に認められたような粒状の結晶隆起がわずかにところどころに見られた。しかし球状アマルガム面には, このような形状のものはほとんど見られなかった。

4. バーニッシュ面構造の経時的変化

バーニッシュした面の直後と, 1週間後との走

図5 削片状アマルガム表面の電子顕微鏡像

F-C 削成面 F-B パーニッシュ面 F-F 仕上げ面 F-P 研磨面

査型電子顕微鏡による1,000倍拡大像を比較すると図7のごとくであった。

填塞直後すなわち10分後の表面はきわめて滑沢なものであったが、1週間放置後同一試料面を観察すると、パーニッシュして1日後の面と同様に無数の粒状の凹凸を生じていた。

時間的経過による変化を知るために、パーニッシュ面の同一場所を15分、30分、45分および60分後に、3,000倍で観察すると図8のような変化が認められた。すなわち最初の15分では表面は

比較的なめらかで、全体が水銀でぬれているような感を呈していたが、30分後には表層の各所で結晶状突起が析出しはじめた。45分、60分後では、結晶状隆起は更に明瞭に現われ、同時に γ と思われる大きな粒子の表面には、小さな空孔様のものを発生して、海綿状外観を呈するに至った。

考 察

1. 仕上げ研磨の効果について

a) 面アラサの減少

図6 球状アマルガム表面の電子顕微鏡像

S-C 削成面 S-B パーニッシュ面 S-F 仕上げ面 S-P 研磨面

先に行なわれた実験で著者らは各種方法で仕上げ研磨されたアマルガム表面について、アラサ検査機ならびに側視断面の弱拡大観察により、その

表 2. 各種アマルガム表面の面アラサ (μ)

	アラサ検査機 による面アラサ	側視断面観察 による面アラサ
削 成 面	19.7	36.6
パーニッシュ面	3.1	4.6
仕 上 げ 面	4.5	6.3
研 磨 面	2.4	3.0

表面アラサを測定した¹⁵⁾(表2)。

この表でわかる通り、削成したままの面は非常に大きなアラサ値を示したが、これを仕上げするとアラサ値は $\frac{1}{4}$ 以下に減少し、研磨を行なうと更に仕上げ面アラサの約 $\frac{1}{2}$ に減少した。

本実験における縦断面の強拡大観察の所見も、傾向においてそれらの成績と全く一致していた。そして削成面の面荒れは主として大きな未反応合金(γ)粒子がかきとられた欠損のために生ずることが明らかに認められた。従つて削成面には表層

図7 パーニッシュ直後と1週間後のアマルガム面の電子顕微鏡像

FB-10M 削片状アマルガム面のパーニッシュ 10 分後の面

FB-1 W 同一試料面の1週間後の面

SB-10M 球状アマルガム面のパーニッシュ 10 分後の面

SB-1 W 同一試料面の1週間後の面

の陥没のみならず、空孔様空隙も多数存在していた。しかしアマルガムの硬化後にこれを仕上げ研磨すると、 γ 粒子は γ_1 や γ_2 の間質と固く結合して、むしり取られることなく一緒に削られて共通の平面を作っていた。

走査型電子顕微鏡によるその表面の立体的観察はこの点を更に明らかにし、削成面は合金粒子

のむしり取りに基づく熔岩状の荒れが観察されたのに対して、仕上げ面や研磨面は共に仕上げ具あるいは研磨具によるかき傷が主として認められた。

b) 結晶粒子の大きさ

一般に金属の表面を研磨すると、そのエネルギーにより結晶の破壊が起こり、結晶粒子が小さく

図8 球状アマルガムをパーニッシュした面の経時的変化の電子顕微鏡像

S B-15M パーニッシュ 15 分後の面

S B-30M パーニッシュ 30 分後の面

S B-45M パーニッシュ 45 分後の面

S B-60M パーニッシュ 60 分後の面

なつて 無定形に近い状態になるといわれているが^{1), 19)}, 本実験の断面写真によると, 仕上げ研磨した試片の表層部の結晶粒子の大きさは, 研磨を行なわなかつた面のそれに比べて, 殆んど差がなかつた。また研磨面の表層, 内層ならびに中心部での結晶粒の大きさを比べてみても, 特別の差は認められなかつた。先に Wing はアマルガムを研磨しても, 表面は homogeneous な構造を生じていなかったと報告したが, これは本成績と一致す

るものである¹⁰⁾。

かように本実験におけるアマルガム断面の強拡大写真観察においては, 研磨面の表層部の結晶粒子の大きさに特別な変化が見られなかつた理由としては次のようなことが推測される。

歯科用アマルガムは融点の低い水銀を含み, また合金元素間の結合が弱く不安定な状態にあるため, 加熱により水銀を分離しやすいばかりでなく, 結晶が壊された場合には再び結晶が融合発育

することが容易である²⁰⁾。

従つて仕上げ研磨により、その表層の結晶が破壊されて無構造になつても、研磨時の熱により、一部遊離した水銀が再び反応を起こして元と同じような結晶構造を回復してしまうのであらうと考えられる。

ただし本研究の観察によつては、オングストローム単位のごく最表層の結晶構造については観察しえなかつた。従つてかような部分にどんな変化があつたか、またさような変化が臨床上どんな意義をもつかについては不明である。

c) 球状と削片状アマルガムとの比較

球状アマルガムと削片状アマルガムの断面写真を比較してみると、 γ_1 , γ_2 の大きさは両者の間に差がなかつたが、 γ については球状の方が、削片状のものより大きく明瞭な外形を示した。このことは混和ならびに填塞の際球状の粒子は丸く移動し易いので、粒子が更に壊されることは少なく、また水銀との接触面積が小さく反応量も少ないので、球状粒子は、その原型を比較的良好に保っているが、削片状の合金は形が不規則で練和によつて容易に細かく粉碎されるだけでなく、広い複雑な面で水銀と反応するので、 γ 粒子の形や境界が不明瞭になつたものと思われる。

また走査型電子顕微鏡像によると、球状合金アマルガムではあまり見られなかつたが、削片状合金アマルガムの仕上げ、研磨面には顆粒状の細かい突起が少数ながら析出していたが、これは仕上げ研磨操作中に遊離した水銀の再反応によつて間質の γ_1 や γ_2 相が細かく晶出したものと考えられる。これが削片状に多かつたのは、含有水銀量が球状アマルガムよりも多いためであらう。

2. バーニッシュの効果について

a) 空孔の減少

本実験の強拡大断面写真でみると、バーニッシュは表面直下の空孔を明らかに減少しており、このことは金井らの報告と完全に一致していた²¹⁾。これはバーニッシュにより空孔が搾り除かれたためと考えられる。

しかし従来バーニッシュすると表面に水銀が浮

き出て辺縁部に集められ、アマルガム自体を弱くすると考えられたため一般に推められていなかったが^{22), 23)}、実際には逆に辺縁部の過剰水銀を搾除する効果があり、また空孔を減少させることによつてアルガム充填の機械的性質を強くし^{24), 25)}、辺縁への適合封鎖を向上する²⁶⁾⁻²⁷⁾。だから正しいバーニッシュは極力行われるべきものと考えられる。

b) 面アラサの減少

前回の実験の成績(表2)を見ると、バーニッシュした面はアラサ検査機でも側視断面の弱拡大観察でも著しく滑沢になり、そのアラサ値は仕上げ面よりも小さいくらいであつた。しかし本実験の強拡大写真観察によると、バーニッシュ面には、アラサ検査機にはかかりにくいような $2\sim 3\mu$ 以下の細かい凹凸が無数に発見された。ところが仕上げあるいは研磨面では、このような凹凸がほとんど見られず、研削具の傷のみが主として現われていた。

従つてアマルガムのバーニッシュ面はアラサ検査機によるアラサ値では仕上げ面に勝るが、実際には検査機にかからないような細かい凹凸が無数に存在することによつて光沢もにぶり、腐食抵抗も低くなっていることが予想されるので、バーニッシュ面は一見滑沢に見えても、更に仕上げ研磨することが望ましいと考えられる。なおバーニッシュすれば、大きな荒れは除かれるので、仕上げ研磨を容易ならしめる効果はあるものと思われる。

c) バーニッシュ後の結晶発育

かようなバーニッシュ面への結晶発育については、走査型電子顕微鏡で表面を立体的に観察するといつそう明瞭になつた。すなわちこのことは、バーニッシュされた直後の未硬化アマルガムの表面(図7の左)と、1週間後の表面(図7の右)との比較によつても推測しえたが、更にバーニッシュ面を経時的に高倍率で観察するといつそう明瞭に理解された。

すなわち填塞バーニッシュした15分後の面では、表面は未反応水銀でぬれて滑沢にみられたが、

30~45 分経過後では、未反応粒子の表面が水銀と反応して海綿状になると同時に、その粒子間には銀錫と水銀とが結合して γ_1 や γ_2 の細かい顆粒状結晶を無数に生ずる状態が明らかに見られたのである。

Ryge らは 填塞 25 分後に研磨したアマルガムを放置すると、数時間内に結晶発育を起こして膨脹して、その間結晶発育が続くことを報告したが²⁸⁾、これは本成績よりうなづきうるものである。また Wing らは 光学顕微鏡によつて早期に研磨されたアマルガム面に新しい結晶の発育を認めたと報告したが²⁹⁾、この報告とも符号するものである。

なおかようなアマルガム面への結晶の突出は未硬化のアマルガム面に著明に起こるのであるが、硬化後においても仕上げや研磨時に摩擦熱が起つて表層が一時的に融解された時にも起こりうるものと考えられ、ラバーホイールで研磨されたアマルガム面が曇ってくるのはこのためであろうと想像される。

本実験でも図 5 の仕上げ研磨面に散在する顆粒状突起は、かような現象がごく僅かに起こつたのではないと思われる。

総 括

球状ならびに削片状合金によるアマルガムの削成した面、バーニッシュした面、仕上げならびに研磨した面について、その縦断研磨面を金属顕微鏡により観察し、またそれらの表面を走査型電子顕微鏡により観察し、次のような知見をえた。

1. 各試片の強拡大写真を観察すると、アマルガム表面を削成したままの面は非常に大きな荒れを示し、空孔も多く認められたが、アマルガム硬化後にこれを仕上げ研磨した面は明らかに滑沢な面を示した。バーニッシュ面は全体的には平坦であつたが、微細な凹凸が一面に見られ、空孔はあまりなかつた。

2. 仕上げ、研磨した面の表層の結晶粒子 (γ_1 , γ_2) の大きさは、研磨を行わなかつた面のそれと差がなく、また研磨面の表層と内層、中心部での

結晶粒の大きさでも差が見られなかつた。

3. 球状アマルガムと削片状アマルガムの断面写真を比較すると、 γ_1 と γ_2 の結晶粒の大きさは両者の間に差がなかつたが、 γ については球状の方が削片状のものより大きく明瞭な外形を示した。

4. アマルガム表面を走査型電子顕微鏡にて観察すると、削成面は熔岩状の大きな凹凸が見られ、バーニッシュ面には規則的な細かい隆起が無数に認められ、また仕上げ、研磨面は全体に滑らかであつたが、仕上げ具あるいは研磨具による切削傷が若干認められた。

5. 削片状アマルガムの仕上げ面、研磨面にはバーニッシュ面で見られたような細かい結晶隆起がところどころに見られたが、球状アマルガム表面ではほとんど見られなかつた。

6. 填塞後バーニッシュした直後の面は非常に滑らかであつたが、時間の経過と共に、 γ_1 , γ_2 の微細な結晶の発育隆起が認められた。これを経時的に観察すると、填塞バーニッシュ後 15 分経過した表面は水銀でぬれて滑沢にみられたが、30~45 分後には露出した残留 γ 粒子の表面には、海綿状の欠損が生ずると同時に間質部に γ_1 , γ_2 の結晶が顆粒状に突出してくる状態が認められた。

稿を終るにのども、終始御懇篤な御指導、御校閲をいただいた総山孝雄教授に深く感謝いたします。また本研究に対していろいろ御援助、御忠言いただいた材研三浦維四教授、神齒大岩本次男教授はじめ保存学教室の各位に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) Skinner, E. W. and Phillips, R. W.: The Science of Dental Materials, Philadelphia and London, 1967, W. B. Saunders Co., p. 343-347, p. 619-620.
- 2) Peyton, F. A.: Restorative Dental Materials, Saint Louis, 1964, The C. V. Mosby Company, p. 411.
- 3) Phillips, R. W.: Amalgam. It's Properties and Manipulation, N. Y. J. Dent., 23: 105-109, 1953.
- 4) Phillips, R. W., Boyd, D., Healey, H. J. and Crawford, W. H.: Clinical Observation on

- Amalgam with Known Physical Properties, Final Report, J. A. D. A., 32 : 325-330, 1945.
- 5) Gilmore, H. W. : Textbook of Operative Dentistry, Saint Louis, 1967, The C. V. Mosby Company., p. 356-361.
 - 6) 総山孝雄 : 新アマルガム充填, 京都, 1966, 永末書店, p. 182-192.
 - 7) Rubinstein, J. and Massler, M. : Polishing Amalgam (abstract), J. D. Res., 40 : 773, 1961.
 - 8) Gabel, B. : American Textbook of Operative Dentistry, Philadelphia, 1956, Lea & Febiger., p. 578-579.
 - 9) Nadal, R. : Amalgam Restorations : Cavity Preparation, Condensing and Finishing. J. A. D. A., 65 : 81-91, 1962.
 - 10) Wing, G. : The Polished Amalgam Surface, J. D. Res., 44 : 1411, 1965.
 - 11) Wing, G. : The Microstructure of Dental Amalgam, Aust. D. J., 10 : 113-120, 1965.
 - 12) Wing, G. : Spherical Particle Amalgam, Aust. D. J., 11 : 265-273, 1966.
 - 13) Miller, E. C. : Clinical Procedures Which Affect Amalgam Restorations, N. W. Dent., 27 : 173-180, 1948.
 - 14) Tsuchitani, Y and Ryge, G. : Tarnish of Dental Amalgam, J. D. Res., 44 : 421-426, 1965.
 - 15) 林, 奥田, 細田, 大谷 : 各種仕上げ研磨法のアマルガムの表面アラサに及ぼす影響, 歯材器学誌, 12 : 22-25, 1965.
 - 16) 中山, 高木, 善住, 井上 : アマルガム充填の研磨に関する研究, 日保歯学誌, 7 : 1-9, 1964.
 - 17) Charbeneau, G. T. : A Suggested Technique for Polishing Amalgam Restorations, J. Mich. Dent. Association, 47 : 320-325, 1965.
 - 18) 桜井, 河野, 新明, 鈴木, 山口, 総山 : アマルガム充填の用具及び方法が充填体の強度ならびに適合性に及ぼす影響, 歯材器学説, 3 : 104-107, 1959.
 - 19) 下総高次 : 研磨の理論と実際, 東京, 1958, 医歯薬出版株式会社, p. 59-60.
 - 20) 金竹, 佐藤, 長谷川, 長谷川, 高橋 : アマルガムの耐熱性について (第1報), 歯科学報, 60 : 1289, 1403, 1960.
 - 21) Kanai, S. : Structure Studies of Amalgam. Acta. Odont. Scand., 24 : 47-53, 1966.
 - 22) Sweeney J. T. : Manipulation of Amalgam to Prevent Excessive Distortion and Corrosion. J. A. D. A., 31 : 375-80, 1944.
 - 23) Simon, W. J. : Clinical Operative Dentistry, Philadelphia, 1956, W. B. Saunders Co, p. 62.
 - 24) Jørgensen, K. D., Esbensen, A. L. and Boring-Møller, G. : The Effect of Porosity and Mercury Content upon the Strength of Silver Amalgam., Acta, Odont. Scand., 24 : 535, 1966.
 - 25) 橋本, 中井, 西村 : アマルガム充填の微小硬度並びにその顕微鏡所見に関する 2, 3 の考察, 歯材器学誌, 9 : 84, 1963.
 - 26) 河野, 新明 : 銀アマルガムの水銀搾出程度について, 歯材器学誌, 3 : 109, 1959.
 - 27) 加藤, 奥瀬, 総山 : アマルガム充填辺縁のバーニッシュが漏洩度におよぼす影響について, 日保歯学誌, 10 : 2, 42-46, 1968.
 - 28) Ryge, G., Moffet, J. C., and Barkow A. G. : Microstructural Observations and X-ray Diffraction Studies of Silver-Tin Amalgams, J. D. Res., 32 : 2, 152-167, 1953.
 - 29) Wing, G and Ryge, G. : Setting Reactions of Spherical Particle Amalgams. J. D. Res., 44 : 1325-1333. 1965.