

stelling volgens de ADA-specificatie. Bij de test met het stalen kroonmodel bleek verlaging van temperatuur de filmdikte van dit cement slechts in geringe mate te reduceren; bij de twee andere cementen nam de filmdikte iets toe.

Wiskundig berekend kan een geringe toename van de filmdikte – afhankelijk van de convergentiehoek van de preparatie – klinisch van betekenis zijn voor de dikte van de randspleet na het cementeren. Daarom wordt de aandacht gevestigd op de moge-

lijkheid, voldoende ruimte te creëren voor het cement door het aanbrengen van een laag lak op het werkmodel.

Pluim – Groningen

ONDERZOEK

CONDENSEREN VAN AMALGAAM

RELATIE TUSSEN VIJF VERSCHILLENDE CONDENSATIETECHNIKEN, DE 24-UURS
DRUKSTERKTE EN HET KWIKGEHALTE VAN AMALGAAMRESTAURATIES

B. A. MESMAN SCHULTZ
W. E. VAN AMERONGEN

*Uit de vakgroepen Conserverende Tandheelkunde
van de Rijksuniversiteit Utrecht (voorzitter: D. P. van Wijk)
en de Vrije Universiteit te Amsterdam (voorzitter: Prof. Dr. C. O. Eggink).*

Trefwoorden: Restauratieve tandheelkunde – Materiaalkunde – Amalgaam – Condensatie

Inleiding

Gedurende een groot aantal jaren wordt intensief onderzoek verricht naar de fysische eigenschappen van amalgaamlegeringen en naar de mogelijkheden om door middel van veranderingen in chemische samenstelling en morfologische structuur (Sarkar, 1979; Innes en Youdelis, 1963; Osborne, 1979) of door wijzigingen in verwerkingstechniek (Mesman Schultz, 1979; Wilson et al., 1957; Jørgensen, 1976) deze eigenschappen – ten bate van de amalgaamrestauratie – te optimaliseren. Vooral de dimensionele veranderingen (Paffenbarger et al., 1979; Rhodes et al., 1979; Mesman Schultz, 1980) tijdens het verhardingsproces, de kruipverschijnselen (Mahler et al., 1969; Vrijhoef et al., 1974; Osborne et al., 1974; Espevic et al., 1975), de 1- en 24-uurs druk- en treksterkte (Osborne et al., 1978; Malhotra et al., 1978) en de corrosieverschijnselen (Dupéron et al., 1971; Jørgensen, 1970 en 1976; Letzel, 1978; Marek, 1977; Onose et al., 1977) staan momenteel in het middelpunt van de belangstelling.

Daarbij is aangetoond, dat in vele ge-

vallen deze genoemde eigenschappen gerelateerd zijn aan het percentage kwik, dat na condensatie van het amalgaam in de restauratie kan worden vastgesteld (Ryge, 1952; Nadal et al., 1961; Eames, 1977; Rupp et al., 1980). In het algemeen geldt dat relatief hoge kwikpercentages de fysische eigenschappen ongunstig beïnvloeden (Phillips, 1973).

Het condensatieproces dient ondermeer om kwik, met daarin aanwezige zilver- en tinverbindingen, tijdens het condenseren en na beëindiging van deze verdichtingsprocedure uit te drijven en te verwijderen. Men bereikt daarmee, dat in de restauratie een aanzienlijk lager percentage kwik resteert dan men er, teneinde de goede 'mix' te verkrijgen (Eames, 1976) tijdens het mengen van de legeringsbestanddelen in heeft verwerkt (Flögel, 1964).

Doel van het onderzoek

Het onderzoek werd verricht teneinde na te gaan in hoeverre verschillende condensatiemethoden het kwikgehalte en daardoor de druksterkte beïnvloeden.

Van proefstaafjes, vervaardigd met

Samenvatting:

De kwaliteit van amalgaamrestauraties is mede afhankelijk van de gebruikte condensatietechniek. Eén van de doelstellingen die daarbij wordt nagestreeft is het uitdrijven van overtollig kwik.

In dit onderzoek zijn vijf technieken met elkaar vergeleken waarbij de verschillen in kwikpercentages en druksterkten, in proefstaafjes, werden gemeten.

Daarbij bleek, dat mechanisch aangedreven condensatieapparatuur, die via stoppers een hamerende werking op amalgaam uitoefent, althans bij de in dit onderzoek gebruikte amalgaamsort, te verkiezen is boven vibratie- en handcondensatiemethoden.

een vijftal (serie 1 – 5) verschillende condensatiemethoden^{*)}, werd de 24-uurs druksterkte bij 37 °C gemeten. Daarna werd van ieder monster het kwikgehalte bepaald. De gevonden resultaten werden gecompleteerd met de uitkomsten van de laboratoriumtesten aanzien van kwikgehalte en de daarbij gevonden druksterkte, waarbij de staafjes vervaardigd werden op de in de ADA-specificatie nr. 1. vermelde wijze.

Materiaal en methode

Keuze van het amalgaam

De keuze viel op Phasealloy^{**)} (Reisbick, 1977), een amalgaam met een hoog kopergehalte, dat o.a. bij één Nederlandse tandheelkundige subfaculteit wordt gebruikt.

^{*)} De laboratoriumproeven werden verricht in samenwerking met de heer H. Maas, metaalanalist bij de subvakgroep Tandheelkundige Materiaalkunde (hoofd: ir. H. P. L. Schoenmakers).

^{**)} Dispersion phase alloy, Phasealloy, Inc. 1050 Greenfield Dr. El Cajon 92021, batch-nr. 050479. Legeringssamenstelling (analyse J. Blokzijl): 64.1% Ag – 14.9% Cu – 20% Sn – 1% Zn.

Tabel I. Specificatie van de toegepaste condensatietechnieken.

Serienr.	Merksnaam	Werkwijze	Soort condensatiestoppers	Gemiddelde diameter	Frequentie	Afbeelding
1.	Clev-dent vlg. Hollenback	pneumatische 'hamerbeweging'	ronde stopper, platte kop rubber point	3 mm	900 p.m. 900 p.m.	1
2.	Ash, England nr. 49	handcondensatie	bolvormig	1.6 mm	klin. ervaring	2A
3.	Clev-dent nr. 1 en 2 vlg. Hollenback	handcondensatie	ronde stopper-platte kop ronde stopper-platte kop	1.2 mm 2.5 mm	klin. ervaring	2B
4.	KaVo*)	mechanische 'hamerbeweging'	ronde stopper-platte kop rubber point	2.3 mm	750 p.m. 750 p.m.	3
5.	Dentatus Bergendal	vibratie	ronde stopper-platte kop ronde stopper-platte kop	2.0 mm 2.7 mm		4

*) In samenwerking met KaVo - Biberach, B.D.R. in ontwikkeling genomen door W. E. van Amerongen, G. Eising en B. A. Mesman Schultz.

De legering is samengesteld uit vijfel van het conventionele zilver-tin-type vermengd met sferische zilver-koperpartikels. Het amalgaam voldoet volgens de fabrikant aan de ADA-specificaties.

Er werd gebruik gemaakt van voorgedoseerde 2 - spill-schroefopcapsules, zonder stamper. De gemiddelde totale inhoud was 1176 mg. De poeder-kwikverhouding bedroeg 48.5 : 51.5. Deze verhouding bleek, na weging van de inhoud van enkele (15) capsules redelijk constant te zijn. De gewichtsverschillen van het amalgaampoeder blijven onder 1%, de spreiding van de kwikinhoud is 0,1%. De opgegeven verwerkingstijd was 6 minuten.

Keuze van de condensatietechnieken

Bij het kiezen van de condensatietechnieken werd uitgegaan van vier methoden, die zowel op Nederlandse universiteiten als in tandartsenpraktijken worden gebruikt. Tevens werd gecondenseerd met een, door de micromotor aangedreven, nieuw ontwikkeld condensatiehoekstuk. De experimenteerfase hiermee is inmiddels afgesloten en de apparatuur zal door de fabrikant binnenkort in productie worden genomen. In tabel I worden deze methodieken vermeld (zie afb. 1 t/m 4).

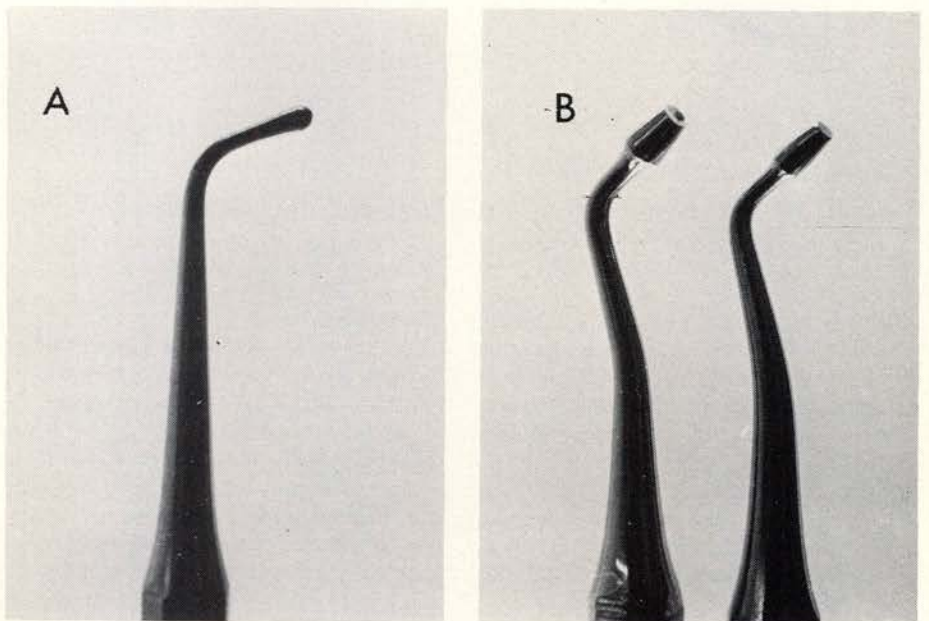
Vervaardiging van de proefstaafjes; bepaling kwikgehalte en druksterkte

Door de ADA en de ISO wordt voorgeschreven, dat de afmetingen van proefstaafjes voor het bepalen van de druksterkte 8x4 mm dienen te zijn. Gezien het feit, dat zowel bij de handcondensatie als bij de mechanische aangedreven condensatietechnieken de werkzame uiteinden van de stoppers te kort waren, werden proefstaafjes vervaardigd van 7 mm lengte. Dit doet overigens aan de waarden, gevonden voor de 24-uurs druksterkte en het kwikpercentage niets af (Black, 1896).

Er werd gebruik gemaakt van een, destijds ontworpen en beschreven, dubbelzijdig toepasbare mal (Mesman Schultz, 1979). Voor het condenseren van de amalgaamstaafjes werden twee capsules direct na



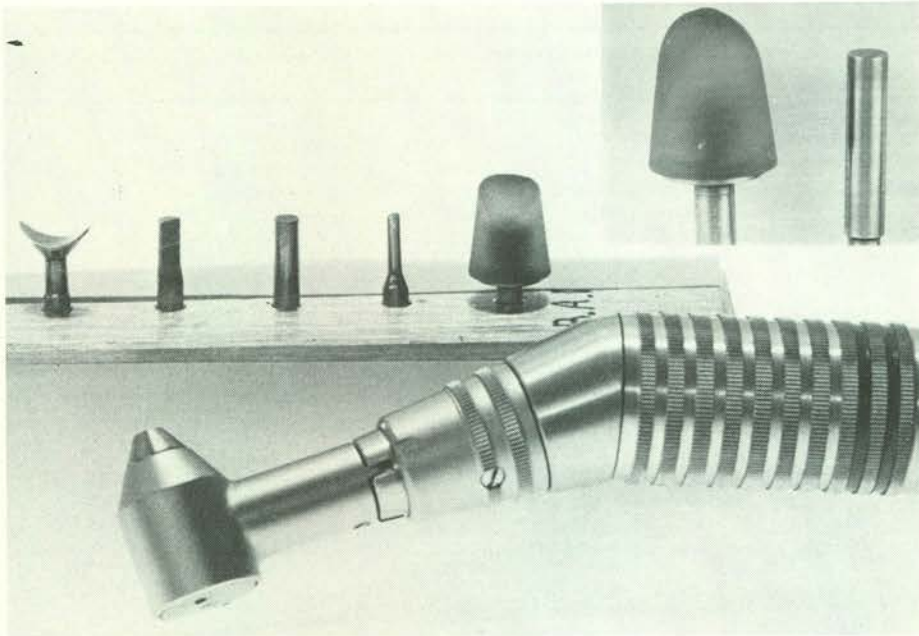
Afb. 1. Pneumatisch condensatieapparaat met metalen en rubber point (Clev-Dent, Hollenback).



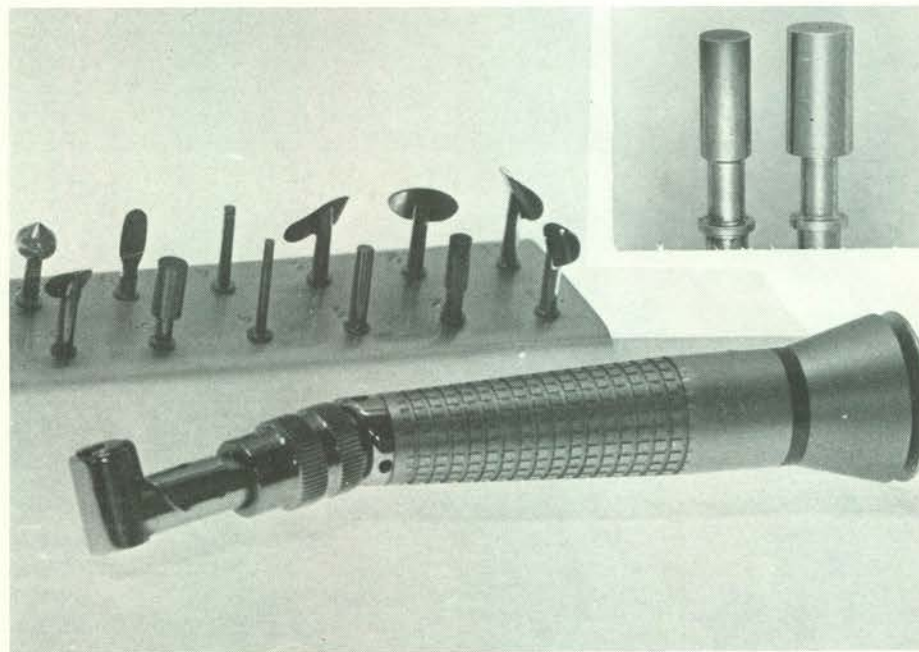
Afb. 2. Amalgaamstoppers voor handcondensatie:

A. Ash 49.

B. Stopper nr. 1 en 2 (Clev-Dent, Hollenback).



Afb. 3. Mechanische condensatieapparatuur met metalen en rubber point (KaVo).



Afb. 4. Mechanische condensatieapparatuur met metalen points (Dentatus, Bergendal).

elkaar in een schudmachine^{*)} gedurende 10 sec. gemengd. De amalgaamlegering werd, binnen een tijdbestek van 3 minuten na het begin van het mengen, in acht, ongeveer gelijke porties in de mal gecondenseerd. Overcondensatie vond in ruime mate plaats, zodat na beëindiging van de condensatieprocedure de kwikrijke overmaat kon worden verwijderd. Met iedere condensatietechniek werden vijf proefstaafjes

vervaardigd.

Voor het vervaardigen van proefstaafjes volgens de ADA-specificatie wordt in de 'Guide to dental materials and devices' de methode als volgt omschreven: In een metalen mal wordt, 30 seconden na het mengen, de amalgaamlegering met behulp van een metalen stopper gedurende 15 seconden belast met een gewicht van 14 MPa. Daarna wordt gedurende 5 seconden de belasting weggenomen, waarna opnieuw, gedurende 40 seconden, belasting plaats vindt, die zowel van boven als van onderen op het proefstaafje uitwerkt. Na verharding werden alle staafjes gedu-

rende 24 uur opgeslagen bij een temperatuur van $37^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$. Daarna werd, eveneens bij 37°C , de druksterkte bepaald^{*)}, waarbij de staafjes werden verbrijzeld. De brokstukken werden per staafje nauwkeurig verzameld om daarvan via een thermische analyse het kwikgehalte te kunnen bepalen.

Deze kwikanalyse geschiedde door in een kwartsbuis van te voren, op constant gewicht gegloeide en met de restanten van één amalgaamstaafje gevulde, keramische kroesjes tot $505^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ gedurende 1 uur te verhitten. Bij deze temperatuur ontleedt amalgaam en komt al het kwik vrij.

Voor en tijdens de verhitting en gedurende de afkoelingsperiode werd door de buis stikstof gevoerd teneinde het verdampende kwik mee te voeren en oxydatie van de metalen te voorkomen. De kwikdamp werd via twee koudwaterbaden afgevoerd, waardoor onder water condensatie, in de vorm van kwikbolletjes, optrad. Aan het einde van de afvoerslang werd de stikstof via een filter ontdaan van nog eventueel aanwezige kwikdamp. De door verhitting ontstane gewichtsvermindering werd veroorzaakt door het verdampen van het kwik.

Aldus werden de kwikpercentages berekend.

Resultaten

De gevonden gemiddelde waarden voor de druksterkte van de proefstaafjes en de daarbij behorende gemiddelde kwikgehaltes zijn vermeld in tabel II.

Bij beschouwing van de druksterkte blijkt, dat de vibratiemethode en de methode volgens de ADA-voorschriften de laagste waarde opleverden. De vier methodieken, waarbij daadwerkelijk benedenwaarts gerichte druk op het plastische amalgaam werd uitgeoefend, leverden betere resultaten op; van deze vier methoden werd met de mechanisch aangedreven apparaten de hoogste druksterkte bereikt.

De spreiding der uitkomsten is, voor wat betreft de proefstaafjes gecondenseerd met de Ash 49 (serie 2) en volgens de ADA-procedure, in vergelijking met de andere methoden, groot. Bij beschouwing van de kwikpercentages valt een duidelijk verschil op tussen de handcondensatie-, vibratie- en ADA-technieken enerzijds en de beide 'hamer'-technieken anderzijds. Bij toepassing van deze laatste twee is er tijdens de condensatie meer kwik uit de legering gedreven.

^{*)} Silamat - Vivadent, 4200 slagen per minuut, belast met capsule.

^{*)} Zwick semi-elektronische trekbank, typenr. 1441; belasting 1000 kg; cross-headspeed 0,5 mm/min.

Tabel II. Gemiddelde druksterkte in MPa (1 MPa = 0.102 kg/mm²) en kwikgehalte in gewichtsprocenten van proefstaafjes amalgaam, vervaardigd met vijf verschillende klinische condensatietechnieken en volgens de ADA-voorschriften. Voor betekenis serienummers zie tabel I.

Serienr.	Werkwijze	Druksterkte	s.	Kwikgeh. gewichtsporc.	s.
1.	pneum. hamerbeweging	393.28	5.40	42.85	0.36
2.	handcondensatie Ash 49	373.92	12.75	45.94	0.82
3.	handcondensatie Clev-Dent 1 en 2	381.77	7.16	44.98	0.48
4.	mech. hamerbeweging	398.74	5.29	42.49	0.27
5.	mech. vibratie	366.16	5.79	45.54	0.65
ADA		364.44	21.09	46.69	0.82

s. = standaarddeviatie.

Vergelijking van deze uitkomsten met de daarbij behorende druksterkten, bevestigt de bevinding, dat het kwikgehalte een rechtstreekse invloed heeft op de afname van de druksterkte. Serie 5 echter geeft daarin een lichte afwijking te zien. In de discussie wordt hierop ingegaan.

In tabel III is de correlatiecoëfficiënt weergegeven van de invloed van de condensatiemethodieken op de verkregen druksterkten. Hierbij is gebruik gemaakt van de Student's t-verdeling, waarmee wordt aangegeven of er een significant verschil bestaat tussen de afzonderlijke waarden. Ligt t_s buiten het gebied van +t tot -t ($t = 2.31$) dan mag, met een waarschijnlijkheid van 95%, gebaseerd op een tweezijdige overschrijding, worden aangenomen, dat er een significant verschil aanwezig is.

Discussie

Uitgaande van de gegevens, die dit onderzoek heeft opgeleverd, lijkt mechanische condensatie van amalgaam, door middel van een hamertechniek de beste resultaten te geven.

Bij alle toegepaste technieken vindt

uitdrijving van overtollig kwik plaats, waardoor het percentage daarvan in de restauratie aanzienlijk lager is dan dat wat oorspronkelijk in het mengsel aanwezig was.

Als er een directe correlatie zou bestaan tussen de hoeveelheid uit te drijven kwik en de druksterkte, dan zou de gemeten druksterkte na toepassing van de handcondensatiemethode met de Ash 49 (serie 2) lager moeten zijn dan die, waargenomen na mechanische vibratie. Kennelijk wordt de sterkte van het amalgaam niet alléén bepaald door de chemische samenstelling van het eindprodukt. Ook de dichtheid van het gecondenseerde amalgaam lijkt hierop van invloed te zijn.

Ervan uitgaande, dat condenseren zowel een kwikuitdrijvende als een amalgaamverdichtende functie moet hebben dan kan uit de gegevens van tabel II worden opgemaakt dat de condensatiemethoden, aangegeven als serie 1, 3 en 4 hieraan voldoen. Steeds is de mate van kwikuitdrijving in overeen-

stemming met de gevonden druksterkte.

Met de Ash 49 wordt, zoals Sweeney in 1941 al beschreef, door de bolvormige contour van deze stopper het amalgaam slechts heen en weer geduwd, hetgeen nog wel enige verdichting van het restauratiemateriaal bewerkstelligt, maar waarmee weinig kwik wordt uitgedreven. Dit in tegenstelling tot de andere handcondensatiemethode (serie 3), waarbij door de platte kop van de stopper het amalgaam enerzijds meer in elkaar kan worden geperst, terwijl anderzijds kwik kan worden uitgedreven.

Door toepassing van de vibratiemethode wordt het amalgaam als het ware in de gewenste richting 'gevloeid'. Een werkelijke verdichting van het materiaal vindt daardoor nog minder plaats dan de handcondensatiemethode met de Ash 49. Van echt condenseren kan dan in feite ook geen sprake zijn. Vandaar ook, dat naar alle waarschijnlijkheid een weinig constante kwaliteit wordt bereikt. Dit blijkt - ook in dit onderzoek - uit de grote spreiding der uitkomsten.

Overigens realiseren de onderzoekers zich terdege, dat de uitkomsten van dit onderzoek gelden voor één bepaald soort amalgaam, namelijk voor de mengvorm van de gevijlde zilver-tinlegering met de sferische zilver-koperlegering.

Voor de andere soorten, zoals onder meer het conventionele, al dan niet sferische, amalgaam of voor de ternaire of quartaire legeringen kunnen de resultaten anders luiden.

Conclusies

- Mechanische condensatiemethoden, waarbij op het restauratiemateriaal een hamerende beweging wordt uitgeoefend geven de mogelijkheid het kwikpercentage in de restauratie, in vergelijking met het percentage tijdens de mengprocedure, aanzienlijk te verminderen.

- Restauraties, vervaardigd door middel van deze technieken vertonen een grotere druksterkte.

- Handcondensatiemethoden en de vibratiemethoden reduceren het

Tabel III. Correlatiecoëfficiënten (t_s) tussen de invloed van condensatiemethoden op de verkregen druksterkten.

Serienr.	1	2	3	4	5	ADA
1	-	2.22	1.71	-1.85	5.38*)	2.29
2		-	1.19	-3.60*)	1.24	0.86
3			-	-3.96*)	3.80*)	1.74
4				-	8.69*)	3.14*)
5					-	0.18
ADA						-

*) Significante verschillen.

kwikpercentage in de restauratie in mindere mate dan indien een mechanisch aangedreven 'hamertechniek' wordt toegepast.

– Restauraties, vervaardigd met handcondensatietechnieken vertonen een lagere druksterkte dan die, welke vervaardigd zijn met behulp van 'hamertechnieken'. Tevens is de spreiding der uitkomsten groter.

– De druksterkte van restauraties, vervaardigd met de vibratiemethode, is kleiner dan die vervaardigd met andere klinische condensatietechnieken.

– De spreiding in de resultaten van de druksterktebepaling van amalgaamstaafjes, die vervaardigd zijn volgens de ADA-voorschriften is onverwacht groot. Aan de suggestie, dat de gestandaardiseerde laboratoriumproef een constant resultaat oplevert, mag – volgens onderzoekers – worden getwijfeld.

Summary:

Condensation of amalgam.

The quality of restorations made of dental amalgam depends, among other factors, on the technique of condensation.

During condensation one of the main goals is the extrusion of mercury to obtain a high quality e.g. for compressive strength.

Five condensation techniques have been compared and values of residual mercury content and compressive strength of specimens were determined.

The conclusion was, that the mechanical way of condensation, by means of stoppers exerting a hammering force on the amalgam, is preferable to vibration techniques or to handcondensation.

Literatuur:

1. A.D.A. (1973): Guide to dental materials and

devices. Pp. 168-171.

2. Black, G. V. (1896): The physical properties of the silver-tin amalgams. *Dental Cosmos* 37 (12): 965-992.

3. Duperon, D. F. et al. (1971): Clinical evaluation of corrosion resistance of conventional alloy, spherical-particle alloy, and dispersion-phase alloy. *J Prosthet Dent* 25 (6): 650-656.

4. Eames, W. B. (1976): A clinical view of dental amalgam. *Dent Clin North Am* 20: 385-395.

5. Eames, W. B. et al. (1977): Mechanical amalgam condensers compared. *Operat Dent* 2: 72-79.

6. Espevic, S. et al. (1975): Creep of dental amalgam. *Scand J Dent Res* 83: 245-253.

7. Flögel, G. E. (1964): De invloed van de condensatiemethoden op de verdeling van kwik in amalgaamrestauraties. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 11: 749-759.

8. Innes, D.B.K. et al. (1963): Dispersion strengthened amalgams. *J Can Dent Assoc* 29: 587-593.

9. Jørgensen, K. D. et al. (1970): Structure and corrosion of dental amalgams. *Acta Odontol Scand* 28: 129-142.

10. Jørgensen, K. D. (1976): Recent developments in alloys for dental amalgams: their properties and proper use. *Int Dent J* 26: 369-377.

11. Letzel, H. (1978): Randbreuk en corrosie van amalgaamrestauraties. *Belg Tijdschr Tandheelkd* 33 (4): 343-362.

12. Mahler, D. B. et al. (1969): Dynamic creep of amalgam. *J Dent Res* 48(4): 48-49.

13. Malhotra, M. L. et al. (1978): Physical properties of dental silver-tin amalgams with high and low copper contents. *J Am Dent Assoc* 96: 444-449.

14. Marek, M. (1977): A corrosion test for dental amalgam. Presentation to the general session of the American Association for Dental Research in Las Vegas, Nevada, U.S.A. Abstract 252.

15. Mesman Schultz, B. A. (1979): Druksterkte, dimensionele verandering en hardheid van een tweetal amalgaamlegeringen in relatie tot mengtijd en uitgestelde condensatie. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 86: 29-36.

16. Mesman Schultz, B. A. (1980): Aspecten van amalgaamranden. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 87 (3): 129-134.

17. Nadal, R. et al. (1961): Clinical investigation

on the relation of mercury to the amalgam restoration. *J Am Dent Assoc* 63: 24-37.

18. Onose, H. et al. (1977): Corrosion of dental amalgam in culture media. *J Dent Res* 56 (11): 1336.

19. Osborne, J. et al. (1974): Static creep of certain commercial alloys. *J Am Dent Assoc* 89: 620-622.

20. Osborne, J. W. et al. (1978): Clinical performance and physical properties of twelve amalgam alloys. *J Dent Res* 57: 983-988.

21. Osborne, J. W. (1979): Failure rate of amalgams with a high content of copper. *Operat Dent* 4: 2-8.

22. Paffenbarger, G. C. et al. (1979): Dimensional change of dental amalgam and a suggested correlation between marginal integrity and creep. *J Am Dent Assoc* 99: 31-37.

23. Phillips, R. W. (1973): Skinner's science of dental materials. 7th edition W. B. Saunders Company, Philadelphia.

24. Reisbick, M. H. (1977): The effect of added particles on the properties of Ag₂Sn-additive amalgams. *J Dent Res* 56-9: 1077-1083.

25. Rupp, N. W. et al. (1980): Effect of residual mercury content on creep in dental amalgams. *J Am Dent Assoc* 100 (1): 52-55.

26. Rhodes, B. F. R. et al. (1979): Physical properties of two highcopper amalgams and a conventional amalgam. *Operat Dent* 4: 71-74.

27. Ryge, G. et al. (1952): Dental amalgam, the effect of mechanical condensation on some physical properties. *J Am Dent Assoc* 45: 269-277.

28. Sarkar, N. K. (1979): Copper in dental amalgams. *J Oral Rehab* 6: 1-8.

29. Spanauf, A. J. (1977): Dental amalgam. Proefschrift Kath. Universiteit Nijmegen.

30. Sweeney, J. T. (1941): An improved technic for packing and condensing uniform amalgam restoration by hand. *J Am Dent Assoc* 28: 1463-1471.

31. Wilson, R. T. et al. (1957): Influence of certain condensation procedures upon the mercury content of amalgam restorations. *J Dent Res* 36-3: 458-461.

Juni 1980.

Sorbonnelaan 16,
2506 CA Utrecht.