環境湿度、温度および被着歯面乾燥方法の違いが歯科接着性 レジン、パナビア EX の接着強さに及ぼす影響について

永木 孝典 赤瀬 公計 矢谷 博文 山下 敦

The Influence of Environmental Temperature, Humidity and Methods to Dry The Etched Enamel Surface on The Adhesive Strength of Dental Adhesive Resin 'Panavia EX'

Takanori Nagaki, Kimikazu Akase, Hirofumi Yatani and Atsushi Yamashita

Abstract : The purpose of this study was to evaluate the influence of environmental temperature, humidity and methods to dry the etched enamel surface on the adhesive strength of dental adhesive resin 'Panavia EX'. The findings were as follows :

1. Though temperature and humidity in oral cavity were higher than 30°C and 81% respectively, they were significantly different from site to site.

2. By rubber dam application, temperature and humidity in oral cavity decreased markedly. By sucking air with vacuum in addition to rubber dam application, both decreased still more.

3. When vacuum was used, there were no statistically significant differences in temperature and humidity among applications of rubber dam, mini-dam, and cotton roll with clamp.

4. The higher were both of environmental temperature and humidity, the more was the tensile adhesive strength reduced. However, since the adhesive strength was not influenced singly by temperature or by humidity, it is suggested that the adhesive strength is influenced by absolute moisture volume.

5. Drying time on the etched-enamel surface influenced the adhesive strength significantly whatever environmental temperature and humidity are. It seems that at least 15 seconds are needed to dry the etched-enamel surface sufficiently with air syringe.

6. It was hardly effective for increasing the adhesive strength to dry the etched-enamel surface with alcohol and to increase the temperature and pressure of compressed air.

Key words : adhesive resin, humidity, temperature, etched-enamel, adhesive strength

I. 緒 言

接着という手法は驚くべき速さであらゆる工業に浸透

岡山大学歯学部歯科補綴学第1講座(主任: 山下 敦教授)
Okayama University Dental School, Department of
Crown and Bridge Prosthodontics (Chief: prof. Atsushi
Yamashita)

昭和61年10月31日受付

し、今日では工業製品はもちろん、住居や日用雑貨まで接着の恩恵を蒙らぬものを探るのが難しいくらいである。医療の分野でも接着を必要とする場面はきわめて多い。しかし生体組織を接着の対象とする場合は、生体組織に対する安全性、接着速度と接着力などの点で、難しい要件が多々あり、臨床で満足に実用されている例はきわめて少ない。殊に歯科領域では、治療に際して接着材を必要とする機会が非常に多く、歯科医療の技術革新に

は歯科用接着材の進歩開発が必須の要件であった。

1955年、Buonocore¹⁾は、歯のエナメル質の表面をリン酸でエッチングし、それを水洗、乾燥したのち、その表面に常温重合性の歯科用ポリメチルメタクリレートのペーストを塗布すると、これがエナメル質表面の凹凸に浸入して硬化し、投描効果によってメカニカルに接着することを見出した。これに端を発して次々と新規な歯科用接着材が生まれ、現在では歯質のみならず、歯科用合金にも強固に接着する接着性レジンが開発され²⁻⁴⁾、歯質をほとんど削除することなく少数歯欠損を補綴する接着ブリッジ (Adhesion Bridge) 等の接着補綴法が可能となった⁵⁻¹¹⁾。接着性レジンとは、従来から用いられてきた歯科用セメントと比較して唾液溶解が少なく耐水性および辺縁封鎖性が向上しており¹²⁾、接着補綴法は長年行われてきたセメント合着による補綴法の欠点を大幅に改善する可能性を有していることは衆目の一致するところである。しかし、口腔内は接着には著しく不利な環境であるため、長期間にわたって金属を歯質と強固に接着させるためには、分子レベルの接着メカニズムをよく理解し^{13,14)}、従来のセメント合着法にも増して厳密な接着操作が要求される。

口腔内における接着阻害因子に関しては多くの報告がなされ、主なものとして水分や各種汚染物質があげられている¹⁵⁻²⁰⁾。山本²⁰⁾は、唾液、油などの汚染物質がコンポジットレジンの接着に悪影響をおよぼすことを報告しており、Youngら¹⁶⁾、布施¹⁸⁾は、酸処理された被着歯面が口腔内の水分の影響を受け、レジンとの接着力が低下することを指摘している。これらの報告から明らかなように、口腔内において接着性レジンの接着力を十分に発揮させるには、酸処理されたエナメル質被着面を汚染せず、十分に乾燥させることが重要であることは論を待たない。しかし、これらの接着阻害因子についての報告は、充填用接着性レジンに関するものが主で、接着補綴法に関する報告はない。接着補綴法に用いる接着材は充填用コンポジットレジンとは組成が異なり、また大きい接着面積を持つ金属被着体を歯面に接着させるという点においても接着条件が大きく異なるため、接着補綴法における有効な接着操作について改めて検索する必要がある。

そこで今回は、口腔内各部の温度および湿度の各種防湿の有無による変化を調べるとともに、温度、湿度ならびに被着歯面の乾燥方法が接着強さにおよぼす影響について検討した。さらにその結果をもとに、臨床において金属被着体を歯面に接着する際、どのようにすれば最も

図1 Precision Hygrometer AY21

高い接着強さが得られるかについての検討を行い、若干の知見が得られたので報告する。

II. 実験材料および方法

実験1 口腔内各部の温度および湿度の測定について
被着体としての歯面の口腔内における環境および防湿効果を調べる目的で、ヤマト科学社製温度湿度測定器 Precision Hygrometer AY 21 型 (図1) を用いて、各種防湿を施した場合および施さない場合について口腔内各部における温度および湿度を計測した。計測は、温度、湿度を一定に保った恒温恒湿室内で行った。防湿法は、ラバーダム防湿、ミニダム防湿、簡易防湿のそれぞれにバキュームによる吸引を併用した場合と、ラバーダム防湿のみの4種類とした。

被験者は、全身および口腔内に異常の認められない本学職員10名を選び、測定基準として、測定の1時間前より飲食物を摂取せず、測定前に口腔内をよく含嗽し、測定中は口呼吸による影響を調べた場合を除き鼻呼吸を原則とした。なお、測定はセンサー固定30秒後に、1カ所につき3回行い、その平均値を代表値とした。

測定部位は、臨床的に接着技法を施行する部位およびセンサーの直径が12mmであることを考慮して決定した。すなわち、防湿を施さない場合は、上顎前歯切端部、上顎前歯舌側部、下顎前歯舌側部、大臼歯咬合面部、口呼吸中の上顎前歯切端部の5カ所を計測し、簡易防湿とバキュームを併用した場合は上顎前歯舌側部および大臼歯咬合面部を、またラバーダムのみによる防湿を施した場合とラバーダム防湿およびミニダム防湿とバキュームを併用した場合は、大臼歯咬合面部のみを計測した (図2, 3)。

図 2 口腔内温度および湿度の測定

図 4 牛歯試験片

1. 口腔外（上顎前歯切端部）
2. 上顎前歯舌面
3. 下顎前歯舌面
4. 大白歯咬合面
5. 呼吸（上顎前歯切端部）
6. 簡易防湿+バキューム吸引時の上顎前歯舌面
7. 簡易防湿+バキューム吸引時の大白歯咬合面
8. ラバーダム防湿時の大白歯咬合面
9. ラバーダム防湿+バキューム吸引時の大白歯咬合面
10. ミニダム防湿+バキューム吸引時の大白歯咬合面

2. 6
4. 7. 8. 9. 10……同一部位

図 3 口腔内各部の温度および湿度の測定点

実験 2 異なる接着環境下における牛歯への接着強さについて

本実験は、実験 1 で得られた口腔内各部の温度、湿度の測定結果に基づいて、外気、防湿時（バキューム併用）の臼歯咬合面部、非防湿時の上顎前歯舌側部、および非防湿時の下顎前歯舌側部あるいは臼歯咬合面部の 4 カ所の平均的接着環境をそれぞれ 25°C 50%、28°C 60%、30°C 80%、および 32°C 90% に設定し、各接着環境における歯科用接着性レジン（パナビア EX、クラレ社）の

酸処理牛歯エナメル質への接着強さについて検討を加えた。

牛歯試験片は、成熟牛の I₁ 鉗歯、I₂ 内中間歯（歯牙長 40 mm 以上のもの）を用いた²¹⁻²³。牛歯は歯冠部唇面エナメル質表層をエメリーペーパー # 600 をとりつけた BUEHLER 社製エコメットⅢ型回転研磨器を用いて、約 400 μm 研削し平坦にした後、被着面にパナビア EX 付属の 40% 正リン酸含有水溶液を滴下し、60 秒後に流水下で 10 秒間水洗した。表面処理の終わった牛歯は、前述した各接着環境下の恒温恒湿室で水中保存した。

また、温度、湿度以外に被着面の乾燥状態も接着強さに大きく影響をおよぼす因子であると考えられることから、温風の温度を変えられるようにナショナル製 EH 571 型ドライヤーを改良し、30、35、40、45°C の 4 種の温風乾燥および 70% と 99.5% 局方エタノール塗布後の 30°C 温風乾燥をそれぞれ 30 秒間行う計 6 種の乾燥方法を設定した。

金属被着体は平均砥粒径 50 μm の Al₂O₃ 粒でブラシングした直径 7 mm のステンレス SUS 304 円柱棒を用いた。

各接着環境に調整した恒温恒湿室内で前述の 6 種の乾燥方法により被着歯面を乾燥後、粉液比 3.2 : 1 で 1 分間室外で一括練和したパナビア EX を盛ったステンレス棒をつき合わせ、2 Kg/cm² の荷重を加えて硬化させ、接着試験片とした（図 4）。

接着強さの測定は、接着後各接着環境下に 5 分間放置した試験片を 37°C 相対湿度 100% の孵卵器中に 24 時間保存した後、島津製作所製オートグラフ DCS-2000 を用いクロスヘッドスピード 2.0 mm/min で引張り、破断時の破壊応力を接着強さとして求めた。

なお、試験片は各条件ごとに 5 個用意した。

実験 3 口腔内環境温度、湿度および乾燥方法が接着強さにおよぼす影響について

本実験は、接着強さにおよぼす温度、湿度および乾燥方法の影響をより詳細に検討することを目的として、環境温度、湿度に加えて被着歯面の乾燥に影響をおよぼすと考えられる3要因をとりあげ、これら5要因を $L_{27}(3^{13})$ 直交差に割りつけて分散分析を行い²⁴⁾、温度、湿度および被着歯面の乾燥方法と接着強さの関係について検討した。

乾燥には臨床に即して、圧搾空気を用いることとし、被着歯面の乾燥に影響をおよぼす因子として乾燥時間、圧搾空気の温度および気圧の3要因をとりあげた。

なお、実験2で用いた局方エタノールによる乾燥方法は実験結果からエアーのみによる乾燥方法とほぼ同程度の接着強さしか示さなかったため、本実験では除外した。

使用した材料、試料作製方法および接着強さの測定方法は実験2と同じである。圧搾空気については、坂口電熱社製ノンフレイムトーチ SD-I-799 型に圧力メーターをとりつけ、温度および気圧が調整できるように改良して実験に使用した。

なお、接着強さの測定は各条件ごとに6個の試験片を用いて行い、その平均値を代表値として分散分析を行った。各要因に設定した水準を表1に示す。

実験 4 温度または湿度の変化が接着強さにおよぼす影響

実験3において得られた結果を追試するために温度、湿度のどちらか一方を非防湿時の接着環境に固定し、他方を変化させた場合の接着強さの検討を行った。すなわち実験2において測定した口腔内温度のうち最も高温環境 (32°C) に温度を固定して湿度を 50, 70, 90% と変化させた場合、同様に最も多湿環境 (90%) に固定して温度を 25, 28, 31°C と変化させた場合の2通りの条件を設定し、接着強さを調べた。

使用した材料、試料作製方法および接着強さの測定方法は実験2と同じである。なお乾燥方法はできるだけ臨床に近い方法にするため、30°C 2気圧の微湿風にて15秒間被着歯面の乾燥を行った。

接着強さの測定は、各条件ごとに5回行った。

III. 実験結果

実験 1 口腔内各部の温度および湿度の測定について

被験者10名のそれぞれの測定部位の平均値をもって

表 1 3元配置分散分析に用いた要因と水準

要 因	水 準
A : 湿度	A 1 50 %
	A 2 70 %
	A 3 90 %
B : 温度	B 1 25 °C
	B 2 28 °C
	B 3 31 °C
C : 気圧	C 1 0.5 Kg/cm ²
	C 2 1.25 Kg/cm ²
	C 3 2.0 Kg/cm ²
D : 時間	D 1 3 秒
	D 2 10 秒
	D 3 15 秒
E : 温度 (エアー)	E 1 30 °C
	E 2 38 °C
	E 3 45 °C

表 2 口腔内各部の温度および湿度

測定点	温 度 (°C)	湿 度 (%)
室 内	27.1 (0.8)	54 (5)
1	29.3 (0.8)	81 (5)
2	30.0 (0.5)	81 (4)
3	31.3 (0.6)	87 (1)
4	32.3 (0.6)	89 (1)
5	31.4 (0.6)	84 (5)
6	27.4 (1.0)	58 (6)
7	28.6 (1.1)	62 (4)
8	29.1 (1.0)	76 (8)
9	28.4 (1.2)	60 (6)
10	28.3 (0.8)	61 (6)

S.D. : ()

測定値とした (図5, 表2)。上顎前歯切端部 (1) は、温度 29.3°C、湿度 81% と非防湿時の測定値のうちで温度、湿度ともに最も低い値を示した。前歯部では、上顎前歯舌側部 (2) が、温度 30.0°C、湿度 81% であったのに対し、下顎前歯舌側部 (3) は、温度 31.3°C、湿度 87% と上顎よりも下顎の方が温度、湿度とも有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。大臼歯咬合面部 (4) は、温度 32.3°C、湿度 89% と全測定部位のうちで温度、湿度とも最も高い値を示した。

ラバーダム防湿 (8) を施した場合は、非防湿時 (4) の温度、湿度と比較して、温度 29.1°C、湿度 76% と両者とも有意に減少した ($P < 0.001$)。さらに、測定点周囲をバキュームで吸引する (9) と、温度 28.4°C、湿度 60% と両者とも外気よりやや高い程度の値まで減少し、特に湿度を減少させる効果がきわめて顕著であった ($P <$

図 5 口腔内各部の温度および湿度

図 6 異なる接着環境下における牛歯への接着強さ

0.001). クランプにコットンロールを併用した簡易防湿 (6, 7), およびミニダム防湿 (10) の場合もバキューム吸引の併用により, ラバーダム防湿にバキューム吸引を併用した場合 (9) とほぼ同様の温度および湿度低減効果を示した. このようにバキューム吸引を併用すれば, いずれの防湿法においても著しく, 温度および湿度が減少し ($P < 0.001$), 3 種の防湿下の温度および湿度に有意差は認められなかった.

実験 2 異なる接着環境下における牛歯への接着強さについて

実験 1 の測定結果から, 下顎前歯舌側部あるいは臼歯咬合面部に相当する接着環境を, 温度 32°C, 湿度 90%, 上顎前歯舌側部に相当する接着環境を温度 30°C, 湿度 80%, また防湿を施した場合 (6, 7, 9, 10) の平均値を参考にして, バキューム吸引を併用した防湿時における臼歯咬合面部の平均的接着環境を温度 28°C, 湿度 60% に設定し, コントロールとして外気的环境 (温度 25°C, 湿

表 3 異なる接着環境下における牛歯に対する接着強さ (Kg/cm²)

乾 燥 方 法	環 境 条 件			
	25°C 50 %	28°C 60 %	30°C 80 %	32°C 90 %
30°C 温風 30 秒	129 (43)	123 (27)	113 (41)	96 (31)
35°C 温風 30 秒	135 (36)	126 (28)	118 (48)	94 (22)
40°C 温風 30 秒	134 (45)	130 (38)	119 (39)	92 (27)
45°C 温風 30 秒	148 (52)	144 (43)	136 (57)	91 (25)
70% エタノール+ 30°C 温風 30 秒	132 (38)	134 (28)	120 (24)	88 (43)
99.5% エタノール+ 30°C 温風 30 秒	141 (41)	138 (51)	118 (24)	92 (25)
平 均	137 (43)	133 (36)	121 (39)	92 (29)

S.D.: ()

度 50%) を選んで、これらの 4 接着環境下における接着強さを検討した (図 6, 表 3)。

外気を想定した温度 25°C, 湿度 50% の場合が、平均 137 Kg/cm² といずれの乾燥方法においても最も高い接着強さを示した。温度の上昇, 湿度の増加とともに接着強さは漸減し, 下顎前歯舌側部あるいは臼歯咬合面部を想定した温度 32°C, 湿度 90% の場合に平均 92 Kg/cm² と最も低い値を示した。特に温度 32°C, 湿度 90% における接着強さと他の 3 接着環境下における接着強さとの差が大きく, いずれとも 1% 以下の危険率で有意差を認めたが, 温度 32°C, 湿度 90% における接着強さを除いた 3 接着環境下における接着強さ間には, いずれも有意差を認めなかった。

つぎに各乾燥方法における接着強さの違いをまずドライヤーによる乾燥温度別にみると, 温度 32°C, 湿度 90% の場合を除いて温風の温度が高くなるにつれ接着強さが増加する傾向を認めたが, その差はわずかで, いずれの接着環境においても各乾燥方法間には有意差は認められなかった。温度 32°C, 湿度 90% の場合には, 温風の温度が変化しても接着強さはほとんど変化しなかった。温風での乾燥にアルコールを併用した場合は, 上顎前歯舌側を想定した, 温度 30°C, 湿度 80% の場合を除く各接着環境下で 99.5% エタノールを用いた方が 70% エタノールを用いた場合よりやや高い接着強さを示したが, 両者間に有意差は認められなかった。また, ドライヤーの温風のみによる乾燥とアルコールによる乾燥を併用した場合の接着強さの間には有意差を認めなかった。

実験 3 口腔内環境温度、湿度および乾燥方法が接着強さにおよぼす影響について

接着強さについて分散分析を行った結果を表 4, 各要因の主効果を図 7, 交互作用を図 8 に示す。要因 D の乾

表 4 接着強さの 3 元配置分散分析結果

要 因	d.f.	s.s.	m.s.	F-value
A : 湿度	2	130.5452	65.2726	0.15
B : 温度	2	1600.1096	800.0548	1.82
C : 気圧	2	184.6673	92.3337	0.21
D : 時間	2	4990.3340	2495.1670	5.68*
E : 温度	2	1.6229	0.8115	0.0018
A × B	4	1441.3191	360.3298	0.82
A × D	4	485.4479	121.3620	0.28
誤差 e	8	1158.6414	439.2835	
全変動 T	26	12348.3141		

* 5 % 以下の危険率で有意

燥時間に関して 5% 以下の危険率で接着強さに有意差を認めたが, 他の要因 (湿度, 温度, 乾燥エアーの気圧, および温度) については, 有意差を認めなかった。図 7-D に示すように, 乾燥時間が 3 秒のとき平均 76.9 Kg/cm² と最も低い接着強さを示したが, 10 秒になると平均 101.6 Kg/cm² と急激に接着強さが増加し, 15 秒で平均 108.6 Kg/cm² と最も高い接着強さを示した。また, 表 4 図 8 より明らかなように, 交互作用 (A 湿度 × B 温度), (A 湿度 × D 時間) は有意とならなかった。

このように予想に反して湿度および温度の変化は, 接着強さに有意の影響をおよぼさなかったが, 図 8-F より明らかなように, 防湿を施さない口腔内環境 (温度 31°C, 湿度 90%) に限ると, 温度が低下するにつれて, また湿度が低下するにつれて接着強さは著明に増加した。

実験 4 温度または湿度の変化が接着強さにおよぼす影響

湿度 (90%) 一定で温度を変化させた場合の結果を図 9 に示し, 温度 (32°C) 一定で湿度を変化させた場合の結果を図 10 に示す。

図 7 牛歯における接着強さの主効果

図 8 牛歯における接着強さの交互作用

湿度が 90% で一定の場合は、図 9 に示すように、温度が上昇するにつれて接着強さは減少した。温度 25°C において平均 127 Kg/cm² と最も高い接着強さを示したが、28°C になると平均 91 Kg/cm² と接着強さは著しく

減少し、31°C において平均 81 Kg/cm² と最も低い接着強さを示した。

温度が 32°C で一定の場合は、図 10 に示すように、湿度が増加するにつれて接着強さは減少した。湿度 50%

図 9 温度の変化が接着強さにおよぼす影響 (湿度 90%)

図 10 湿度の変化が接着強さにおよぼす影響 (温度 32°C)

において平均 127 Kg/cm² と最も高い接着強さを示し、70% においては平均 89 Kg/cm² と接着強さの著しい低下を示し、90% において平均 81 Kg/cm² と最も低い接着強さを示した。

なお、いずれの場合も各群間の接着強さに有意差は認められなかった。

IV. 考 察

歯科領域における接着の歴史は、1955 年 Buonocore, M.G.¹⁾ によって報告されたエナメル質酸処理法に端を発している。1960 年代には、増原ら²⁵⁾によって象牙質に対しても接着性を有するレジンが開発され、さらに 1978 年に歯質のみならず金属に対しても接着性を有する接着材²⁾が開発されるに至って、歯質削除を最小限にして審美、機能の回復、改善をはかる接着技法が山下¹⁰⁾らによって確立され、一般臨床に急速に導入されるようになった。

われわれも 1982 年に山下が提唱したリテーナーデザ

インを用いて多数の臨床例を経験し、満足いく結果を得ており²⁶⁾、他の多くの研究結果を勘案すると接着技法は口腔内の咬合力に十分耐えうる強度を期待できる水準に至りつつあるといえる。

しかし、接着強さに関する基礎的研究はすべて接着操作が完全に行われることを前提にしており、口腔内には呼気中の湿気^{16,18)}、唾液^{15,16,19,20)}、油分^{15,20)}などの接着阻害因子が存在することから、臨床においては接着阻害因子の排除不足によって接着強さが低下し、金属被着体の脱離に至る症例が相当数存在するのではないかとと思われる。

そこで、口腔内において接着操作を行う際に特に重要な被着面の乾燥状態に影響があると考えられる因子が接着強さにおよぼす影響についての検討を行い、口腔内における最も望ましい接着操作についての提案を行った。

1. 口腔内環境温度、湿度の測定について

本実験において使用した温湿度測定器のセンサー部は、直径 12 mm の金属箱の中心部にあり、歯のエナメル質表面の温度、湿度を直接測定する事は不可能であるため、本実験では被験部位近傍の温度、湿度を測定した。

また本器は、温度に対する応答は速いが、湿度に対する反応は遅く、メーカーの指示書にはセンサー設定から 20 秒後に測定を行うようにとの注意がある。そこで、被験者の口腔内でセンサー固定直後から 10 秒間隔で 60 秒後まで湿度測定を行ったところ、30 秒以後にほぼ安定した数値が得られたため、センサー固定 30 秒後に温度、湿度の測定を行った。

口腔内は、防湿を行わない場合、温度が 30°C 以上、湿度が 81% 以上で、外気と比較して一様に高温多湿であったが部位による差も明らかで、温度、湿度ともに上顎前歯舌面部、下顎前歯舌面部、大臼歯咬合面部の順に高い値を示した。このうち下顎前歯舌面部と大臼歯咬合面部間の湿度の差を除いてすべて有意の差を示した ($P < 0.01$)。

これは、外気および唾液の影響によるものと考えるのが最も妥当であろう。すなわち前述の結果は、開口中、吸気によって外気が絶えず前歯部から潤滑な口腔内へ進入すること、また下顎には唾液腺の開口部があり、開口中も外気の影響を受けにくいことを考えると理解できる。

また、口呼吸を行うと鼻呼吸の場合と比較して前歯部において温度が約 2°C、湿度が約 3% 上昇しており、酸

処理された表面が経時的に水分の影響を受けやすくなることを考え合わせると、被着歯面を酸処理してから金属被着体を圧接するまでの時間を極力短くし、その間は鼻呼吸を原則にすべきであろう。

吉田²⁷⁾は、呼気は温度 30°C、湿度 92% であると報告しているが、今回の測定によると呼気（上顎前歯切端部）は、温度 31.4°C、湿度 84% と特に湿度に関して吉田の報告よりも 8% ほど低い値を得た。本実験では測定器の応答性の関係からセンサー部を設置してから約 30 秒後に測定を行ったため、吸気の影響が出たものと推察される。

防湿を施すといかなる防湿法でも、口腔内の温度および湿度は有意に減少し ($P < 0.001$)、ラバーダムのみによる防湿を行うと、非防湿時に比較して温度が約 3°C、湿度が約 23% 減少した。ラバーダムに加えてバキュームによる吸引を併用すると、温度が約 4°C、湿度が約 30% と両者ともさらに減少し、バキューム吸引による口腔内温度および湿度の低減の効果はきわめて大であった。これはバキュームにより口腔内の水分が吸引されるとともに、気化熱を奪うからであると推察される。

またバキュームによる吸引さえ併用すれば、防湿法の違いによる口腔内の温度および湿度の低減効果に有意差が認められなかったことから、接着技法における防湿はラバーダムでなければならない理由は見当たらないといえる。

すなわち、臨床においては、誤って酸処理した被着歯面に唾液や血液などが触れるといった接着操作の失敗を完全に防ぐことを前提とした場合には、バキュームによる吸引を併用すれば簡易防湿で十分防湿の意義を果すことができるといえる。しかしながらラバーダム防湿は、より安全に接着操作を行うという意味においては大きな存在価値を有していることも同様に主張できるであろう。

2. 異なる接着環境下における牛歯への接着強さについて

牛歯と人歯のエナメル質は若干の違いはあるにしても、本質的には同質のものと考えられており²²⁾、また比較的試料数の確保も容易であることから、接着試験用被着体として牛歯を使用した。しかしながら牛歯エナメル質に対する接着強さに影響をおよぼす因子として牛の成熟度、歯の種類、歯の新鮮度、歯牙長など多くのものがあげられており^{22, 23, 28)}、これらの因子を考慮しなかった場合、その接着強さは大きくばらつく^{22, 23)}。エナメル質に対する接着強さは Ca 濃度（酸処理に伴う溶出カルシ

ウム量）と相関があるとされており^{22, 29)}、牛歯エナメル質は牛の成熟に伴って非常に複雑な石灰化過程をたどる²¹⁾ことから、前掲した因子の違いにより接着性レジンと酸処理エナメル質への親和性に大きく差が生じることがばらつきの主な原因であると思われる。

そこで中道^{22, 23)}の報告に基づき、牛歯エナメル質被着体をできる限り均一なものにするために、屠殺後 12 時間以内に抜去した成熟牛の鉗歯および内中間歯（歯牙長 40 mm 以上のもの）を用い、抜去後 1 週間以内に接着試験片を作成した。

本実験結果を接着環境別にみると、コンポジットレジンを用いた吉田²⁷⁾の報告と同様に、環境が高温多湿になるにつれて接着強さが低下する傾向を示した。このことはパナビア EX の接着強さが環境温度あるいは湿度またはその両者に影響を受けることを示しており、接着技法における防湿の意義を改めて再確認することができた。

各接着環境間の接着強さを比較すると、注目すべきことに温度 32°C、湿度 90% の接着環境（大白歯咬合面部あるいは下顎前歯舌面部に相当）における接着強さが他の接着環境における接着強さと比較して有意に低い値を示した。藤井と清水³⁰⁾はエナメル・エッチング法に関する総説の中で、充填用コンポジットレジンの接着強さにおよぼす温度、湿度および酸エッチング終了から接着までの設置時間の影響を調べた吉田²⁷⁾の研究結果を引用して、湿度に関して「80% と 92% とでは歴然とした差があることがわかる」と述べており、本研究もそれと同様の結果を得たことになる。このことは大白歯部および下顎前歯部は接着にとって著しく不利な部位であることを示している。また外気（温度 25°C、湿度 50%）下における接着強さとバキューム併用による防湿下（温度 28°C、湿度 60%）の接着強さはそれぞれ平均 137、133 Kg/cm² とほとんど差が認められなかったことからバキュームを併用した防湿を行えば、口腔内をほぼ問題のない接着環境とすることができるといえる。しかしながらバキューム吸引の効果が十分におよぶ範囲は限られていると考えられ、多数歯にわたる金属被着体を接着する場合には、バキュームを併用しても被着面全体にわたって理想的な接着環境が得られているかどうか疑問が残る、この点については今後の検討が必要であろう。

乾燥方法に関して、まずドライヤーの温風の温度変化が接着強さにおよぼす影響をみると、温度 32°C、湿度 90% の接着環境を除いてドライヤーの温風の温度が上昇するにつれて接着強さは増加する傾向を示したが、温風の温度 30°C と 45°C 間の接着強さの平均値の差は

19~23 Kg/cm² で決して大きいとはいえず、温度 32°C、湿度 90% の接着環境においては温風の温度変化は接着強さにほとんど影響をおよぼさなかった。すなわち、乾燥エアーの温度の上昇はいずれの接着環境においても接着強さの増大に有効であるとはいえず、われわれの予想とは反した結果となった。

この原因としては、乾燥時間^{15,18)}の関与が考えられる。本実験では布施¹⁸⁾の報告に基づき 30 秒間という比較的長い乾燥時間を設定しており、そのことにより一定の温度湿度の接着環境においては、乾燥エアーの温度とは無関係にほぼ一定の被着歯面の乾燥状態が得られていたのかも知れない。

また、本実験においては被着歯面の酸処理、水洗および乾燥が終了した後、できる限り速やかに金属被着体を接着したが、実際にはその間に数秒の遅れがあり、その遅れの間に被着歯面は再び急速にその時の恒温恒湿室内の雰囲気にとさらされて、乾燥エアーの温度を変化させても被着歯面の乾燥状態には大きな差が生じなかったとも考えられ、その詳細は不明である。

被着歯面の乾燥度が上がることを期待して、実験に用いた 70% および 99.5% 局方エタノールについては、いずれの接着環境においてもほぼ同様の接着強さを示した。またドライヤーによる温風乾燥の場合と比較しても接着強さにほとんど差が認められず、アルコール併用による歯面乾燥は接着にとって有効とはいえなかった。

接着歯面の乾燥にエタノールをはじめブタノールやアゼオトロップなどの乾燥剤を用いることを推奨する研究者³¹⁾もいるが、むしろ乾燥剤の使用によってエナメル質に亀裂を生じたり、歯髄へ有害作用をおよぼす可能性があり、乾燥剤の使用が接着に対して臨床的に好結果を生むかどうかは疑問である。

乾燥剤を使用すると必ず被着面に何らかの残遺物が残り、これが被着面上の被膜となる可能性を示唆した報告³²⁾があり、Buonocore¹⁵⁾ は乾燥剤中には過酸化化物や油などの不純物が含まれているものが存在し、これらが汚染源となりうると述べており、明らかな効果が認められない限りは臨床において乾燥剤の使用を避けるべきであると考えられる。

3. 口腔内環境温度、湿度および乾燥方法が接着強さにおよぼす影響について

実験 2 においてパナビア EX の接着強さは、雰囲気が高温多湿になるにつれて低下することが明らかとなったが、この実験からは環境温度と湿度が互いにどのような

関連をもって接着強さに影響をおよぼすのかについては明らかではない。また被着歯面の乾燥方法も接着強さに影響をおよぼす重要な因子であると考えられるが、実験 2 においては乾燥エアーの温度による影響を検討したのみで、その他の因子に関しては何ら検討を加えていない。そこで環境温度および湿度、乾燥エアーの温度および気圧、乾燥時間がそれぞれパナビア EX の接着強さにどのような影響をおよぼすのか、また接着強さに対して互いにどのような関係にあるのかという点について分散分析による検討を加えた。

その結果、パナビア EX の接着強さに有意の影響をおよぼす因子は乾燥時間のみであることが示された。すなわち被着歯面の乾燥時間が 3, 10, 15 秒と長くなるにつれて接着強さは増加し、特に乾燥時間が 3~10 秒にのびると接着強さは急激に増加した。推奨される乾燥時間は研究者により異なっており、Young¹⁶⁾ は 5 秒以上乾燥を行っても接着強さの増加にはつながらないと報告しているのに対して、布施¹⁸⁾ は 30 秒間乾燥を行った場合に最も高い接着強さが得られ、60 秒間では逆に接着強さは減少したと報告している。本実験においては図 7-D に示すように、乾燥時間 10 秒と 15 秒における接着強さの平均値の差はわずか 7 Kg/cm² であり、10 秒と 15 秒乾燥後の被着歯面の乾燥状態に大きな差異は存在しないと考えられることから、布施の報告¹⁸⁾ のように 30 秒間乾燥すればさらに接着強さが増加したかどうかは疑いが、実験結果の傾向としては布施の報告に近く、接着性レジンとしてパナビア EX を使用する際にも、少なくとも 15 秒程度の気銃による被着表面の乾燥が必要であると思われる。

また交互作用に関しても、湿度と温度および湿度と乾燥時間の間には有意差は認められず、互いに相乗的あるいは相殺的效果がないという結果が示された。

以上の結果は一見すると実験 2 における結果と全く矛盾しているように思われる。しかしながら、分散分析結果はあくまで「設定した水準全体において」ある要因が接着強さに対してどのような影響力を有しているかを説明するものに過ぎず、ある特定の条件下における影響については分散分析結果は何も語っていないことに注意する必要がある。

図 8-F₁, F₂ をよく観察するとつぎのことがわかる。環境温度が 31°C の場合に限ると、環境湿度が 50, 70, 90% と多湿になるにつれて平均接着強さは 104.7, 92.2, 79.8 Kg/cm² と低下し、28°C 以下になると湿度の影響をあまり受けなくなる。同様に環境湿度が 90% の場合に限ると、環境温度が 25, 28, 31°C と高温になるにつれて平均

接着強さは 116.3, 95.2, 79.8 Kg/cm² と低下し, 70% 以下になるとあまり温度の影響を受けなくなる。この結果は被着歯面の乾燥条件を臨床に即した条件に固定した実験 4 において確認することができた。

このように, 環境湿度が 70% から 90% に近くなるとパナビア EX の接着強さは急激に環境温度の影響を受け始め, 同様に環境温度が 28°C から 32°C に近くなると急激に環境温度の影響を受け始めるということは, 実験 2 において雰囲気温度 30°C, 湿度 80% から温度 32°C, 湿度 90% に変化すると接着強さが著しく低下したことに符号する。両実験結果を通していえることは, 多湿あるいは高温雰囲気は単独にパナビア EX の接着強さに悪影響をおよぼすのではなく, 高温かつ多湿環境が接着強さに最も悪影響をおよぼすということである。

一般に用いられる湿度とは相対湿度 (一定体積中に実際に含まれている水蒸気量と, そのときの温度で含むうる最大の水蒸気量すなわち飽和水蒸気量の百分率比) のことであり, 湿度自体は空気中の絶対的な水分量の多少とは直接には結びつかない。

$$\text{飽和水蒸気圧 (Pa*) と温度 (Ta) は Antoine の式} \\ \text{Pa*} = \exp[18.6686 - 4030.183 / (235 + \text{Ta})] [\text{mmHg}] \\ \dots\dots\dots (1)$$

によって関係づけられる³⁴⁾。また空気中の水分量 (C) と水蒸気分圧 (Pa) は

$$C = \left(\frac{1.033 \times 10^4}{760} \right) \left(\frac{\text{Pa}}{\text{Rv}(T + 273.15)} \right) (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \\ \dots\dots\dots (2)$$

Rv はガス定数 [m · kg · kg⁻¹ · K⁻¹]

という関係にある³⁴⁾。(1) および (2) 式より, たとえば温度 25°C, 湿度 90% および温度 32°C, 湿度 90% を例にとった場合の空気中の水分量を比較すると, 同一の湿度であっても後者は前者の約 1.5 倍の水分を空気中に含んでおり, 雰囲気が高温かつ多湿になるにつれて空気中の水分量は急激に増加するということができる。

大野ら³³⁾は金属表面の酸化被膜に配向した水酸基には空気中の水分子が吸着されやすく, 吸着された水分子が多分子層になるにつれて接着強さが低下することを示したが, エナメル質表面も酸エッチングによって多数の水酸基が配向する³⁵⁾ことから, 空気中の水分量が増加するに従って酸処理されたエナメル質表面に水分子が吸着する割合もまた増加すると考えられる。

したがってパナビア EX の接着強さは単に温度あるいは湿度に影響を受けるのではなく, 空気中の絶対的な水分量に影響を受けているのではないかと思われる。そ

して乾燥時間は, 環境温湿度にかかわらず被着歯面の吸着水の減少に有意な影響を持つということが出来る (図 8-G)。さらに乾燥エアーの気圧および温度は, 乾燥時間とは逆に被着面の乾燥には大きな効果を有していないのであろう。

ところで実験 2 と実験 3 を通して, パナビア EX が非常な高温多湿雰囲気となるまでその接着強さを急激には減少しないのは注目すべきことであった。吉田の報告²⁷⁾によるとコンポジットレジンの中には空気中の水分の影響を受けやすいもの (コンサイスエナメルボンド以下コンサイス) と受けにくいもの (クリアフィルボンド F 以下クリアフィル) があり, それが主にボンディング材の組成の相違によるものであることが示されている。すなわちボンディング材には接着阻害因子の影響を受けやすいものと受けにくいものが存在する。加藤らの報告³⁶⁾によれば両者はともに Bis-GMA とガラスフィラーからなるコンポジットレジンであり, 重合開始剤として共に過酸化ベンゾイルを使用しているが, クリアフィルではさらに重合促進剤であるスルフィン酸ナトリウムをボンディング材中に含有している点が異なっている。

接着性レジンが歯質ならびに金属に対して高い接着性を有するのは, 両者に対して強い化学的親和性を有する接着性モノマーによるものであることは当然であるが, 最近になって重合触媒の種類およびその添加量が接着界面における重合度を左右し, ひいては接着強さに大きな影響を与えることが指摘されている^{37, 38)}。すなわち, 接着性レジンがいかに優れた接着性モノマーを含有していても, 接着界面に存在する酸素および水分などの重合阻害物質の影響を受けて重合度が低下すると接着強さも著しく低下すると考えられる。クリアフィルの含有するスルフィン酸ナトリウムは還元剤であり, 水分の存在下でもその優れた還元作用によって接着界面での重合度の低下を防ぐことが示されており³⁷⁾, この理由によってクリアフィルはコンサイスよりも接着界面における水分の影響を受けにくかったものと思われる。本実験で用いたパナビア EX の組成については不明な点が多いが, クリアフィル同様スルフィン酸ナトリウムが添加されており³⁹⁾, これが非常な高温多湿雰囲気となるまで接着強さが著しく低下しなかった原因であると思われる。

このように最近の接着材料は, 特にエナメル質と比較して酸素や水分に富む象牙質に対する接着性を高めるため, 重合阻害物質の影響を受けにくくする配慮がなされているが, それも十分なものといえず, エナメル質における接着にとっても防湿およびバキューム併用によって

温度、湿度を十分に低減させて口腔内の水分を被着歯面から極力除くことが重要であることに変わりはない。それと同時に口腔内の接着阻害因子の影響を受けにくい優れた接着性レジンの開発を、今後とも推進してゆく必要があると思われる。

V. 結 論

環境温湿度および被着歯面乾燥方法が、歯科接着性レジン パナビア EX の酸処理エナメル質に対する接着強さにおよぼす影響について検討した結果、以下の結論を得た。

1. 口腔内は温度 30°C 以上、湿度 81% 以上で一様に高温多湿であったが、部位による差も明らかで温湿度ともに上顎前歯舌面部、下顎前歯舌面部、大臼歯咬合面部の順に高い値を示した。

2. ラバーダム防湿の温湿度低減効果は著しかったが、バキューム吸引を併用すると温湿度ともにさらに減少した。

3. バキューム吸引を併用するとラバーダム防湿、ミニダム防湿、簡易防湿の3種の防湿下の温湿度に有意差は認められなかった。

4. 環境が高温かつ多湿になるにつれて接着強さは徐々に低下し、大臼歯咬合面部に相当する温度 32°C、湿度 90% 付近になると著しく低下した。しかしながら環境温度および湿度は単独には接着強さに影響をおよぼさないことから、接着強さは実際に空気中に含まれる絶対的な水分量に影響されることが示唆された。

5. 乾燥時間は環境温湿度によらず接着強さに有意の影響をおよぼし、接着に先だって少なくとも 15 秒間被着面の乾燥を行うことが必要であると思われた。

6. アルコールによる歯面乾燥、乾燥エアーの温度および気圧の上昇は接着強さの向上にほとんど有効ではなかった。

以上より、臨床において接着補綴を行う際には、まず種類は問わないが必ず防湿を行い、被着歯面のエッチングおよび水洗が終了したら被着歯面付近をバキュームで吸引しながら気銃で少なくとも 15 秒間被着歯面の乾燥を行い、乾燥終了後ただちに金属被着体を圧接するという一連の接着操作が重要であると思われる。

本稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご教示を賜りました岡山大学工学部 大崎紘一教授に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Buonocore, M.G.: A simple method increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces, J Dent Res, 34: 849~853, 1955.
- 2) 竹山守男, 檀瀧信郎, 中林宜男, 増原英一: 歯科用即硬性レジンに関する研究 (第 17 報), 歯理工誌, 19: 179~185, 1978.
- 3) 和田 徹: レジン系接着材の特性 (2), Dental Diamond 増刊号: 102~109, 1984.
- 4) 中村光夫, 中村宜男: 4-META を含む新しいタイプのレジンセメント (ケミエース) について, 日本歯科評論, 493: 87~100, 1983.
- 5) 山下 敦, 山見俊明: 架工義歯における接着性レジンの応用 その 1. 歯科用非貴金属合金の種類と金属被着面処理が接着力に及ぼす影響について, 補綴誌, 26: 584~591, 1982.
- 6) 山下 敦, 山見俊明: 架工義歯における接着性レジンの応用 その 2. Adhesion Bridge (Adhesion Splint) のデザインならびに臨床術式について, 補綴誌, 26: 592~598, 1982.
- 7) 山下 敦, 山見俊明, 石井雅之, 山口 威, 浦本利生: 架工義歯における接着性レジンの応用 その 3. 接着性レジン用ニッケル・クロム合金とその接着強さならびに接着耐久性について, 補綴誌, 26: 1118~1127, 1982.
- 8) 近藤康弘, 浦本利生, 山下 敦: 歯科接着性レジン・パナビア EX の歯科用合金に対する接着強さ その 1. ニッケル・クロム系合金との接着強さについて, 補綴誌, 28: 587~598, 1984.
- 9) 山下 敦, 近藤康弘, 藤田元英: 歯科接着性レジン・パナビア EX の歯科用合金に対する接着強さ その 2. 貴金属合金との接着について, 補綴誌, 28: 1023~1033, 1984.
- 10) 山下 敦: 歯科接着性レジンの基礎と臨床 (下巻), クインテッセンス出版, 東京, 1983.
- 11) 山下 敦, 柏田聡明: 接着性レジンの補綴臨床, 日本歯科出版, 東京, 1985.
- 12) 三島信好, 藤田元英, 近藤康弘, 矢谷博文, 山下 敦: クラウンに用いられる各種装着材の辺縁漏洩について, 補綴誌, 31: 88~100, 1987.
- 13) 井本 稔, 黄 慶雲: 接着とはどういうことか, 岩波新書, 東京, 1980.
- 14) 増原英一: 歯科接着性レジンの基礎と臨床 (上巻), 23~25, クインテッセンス出版, 東京, 1983.
- 15) Buonocore, M.G.: Caries prevention in pits and fissures sealed with an adhesive resin polymerized by ultra-violet light. A two year study of a single adhesive application, J Am Dent Assoc, 82: 1090~1094, 1971.

- 16) Young, K.C., Hussey, M., Gillespie, F.C. and Stephen, K.W.: *In vitro* studies of physical factors affecting adhesion of fissure sealants to enamel; in *Proceeding of an International Symposium on The Acid Etch Technique*, 50~62, North Central Pub. Co., Minnesota, 1975.
- 17) Soetopu, B.D. and Hardwick, J.L.: Mechanism of adhesion of polymers to acid-etched enamel. Effect of acid concentration and washing on bond strength, *J oral Rehabil*, 5: 69~80, 1978.
- 18) 布施 究: 酸処理法によるエナメル質とコンポジットレジンとの接着性に関する研究, *日 歯 保 誌*, 21: 326~349, 1978.
- 19) Hormati, A.A., Fuller, J.L. and Denehy, G.E.: Effects of contamination and mechanical disturbances on the quality of acid-etched enamel, *J Am Dent Assoc*, 100: 34~38, 1980.
- 20) 山本哲也: エナメル質酸処理後の各種汚染がコンポジットレジンの接着性におよぼす影響について, *日 歯 保 誌*, 24: 93~114, 1981.
- 21) 森脇 豊, 可児徳子, 古座谷隆, 堤 定美, 下出直悠, 山賀礼一: 牛歯エナメル質の成熟に伴う結晶性の変化について, *歯理工誌*, 9: 78~85, 1968.
- 22) 中道 勇: 各種修復材料の人歯と牛歯に対する接着力, *口 病 誌*, 49: 31~40, 1982.
- 23) 中道 勇: 各種修復材料の人歯と牛歯に対する接着力 (補遺), *歯材器誌*, 3: 85~94, 1984.
- 24) 田口玄一: 実験計画法(上), 丸善(株), 東京, 1962.
- 25) 増原英一, 中林宜男, 樽見二郎: 歯質と接着する充填材バライカーフの基本的特性, *歯界展望*, 5: 202~218, 1970.
- 26) 山下 教: アドヒージョンブリッジの経時観察とその予後, *補綴誌*, 29: 222, 1985.
- 27) 吉田敏和: 酸処理エナメル質表面の環境温度湿度がコンポジットレジンの接着性におよぼす影響について, *日 歯 保 誌*, 26: 412~416, 1983.
- 28) 東光照夫, 千葉幹男, 岡野洋三, 橋本宏二, 鈴木敏光, 伊藤和雄, 和久本貞雄: 抜去後の歯の保管条件がコンポジットレジン接着力に及ぼす影響について, *日 歯 保 誌*, 27: 626~631, 1984.
- 29) 山本昌雄, 中沢省三, 滝本伸枝: 歯科用レジン系接着剤の最近の進歩 II. 歯質表面の酸処理と接着性について, *広 大 歯 誌*, 7: 18~33, 1975.
- 30) 藤井弁次, 清水建彦: エナメル・エッチング法における接着阻害因子とその対策, *歯界展望別冊 歯科臨床と 接 着*: 67~77, 1983.
- 31) Zisman, W.A.: Liquid Displacement from Solid Surfaces, *In Adhesive Restorative Dental Materials II*. NIDR. U.S. Public Health Service Publication, 1494, 1965.
- 32) Rohr, M.W. and Makinson, O.F.: Residual films from cavity preparation drying materials and a bonding agent, *J Dent Res*, 55: 519, 1976.
- 33) 大野弘機, 荒木吉馬, 川島 功, 山根由朗, 相良昌宏: 接着性レジンと金属の接着機構の解明—金属表面の水酸基と水分子の役割—, 第7回日本歯科理工学会学術講演会講演集, 68~69, 1986.
- 34) 西 安信: 人体と環境との熱交換—温熱生理学 (中山昭雄編), 33~72, 理工学社, 東京, 1981.
- 35) 山本昌雄: 歯質の酸処理とレジン系材料の接着, *歯界展望*, 49: 581~592, 1977.
- 36) 加藤裕正, 橋本宏二, 和久本貞雄, 鈴木正子, 宮治俊幸: 白歯用コンポジットレジンおよびボンディング材の赤外線吸収スペクトル分析, *昭 歯 誌*, 3: 172~184, 1984.
- 37) 入江正郎, 鈴木一臣, 田中持郎, 中井宏之: 歯質と接着するポリマーの研究 (その4)— α -アミノ酸メタクリレート
- の重合触媒と接着性について—, *歯材器誌*, 4: 92~96, 1985.
- 38) 中林宜男, 中村光夫, 本田成道: 即硬性レジンと象牙質との接着—4-META とグルタルアルデヒドを用いたボンディング剤—, 第7回日本歯科理工学会学術講演会講演集, 63~64, 1986.
- 39) 増原英一: パナビア EX の理工学的性質—接着性レジンセメントとその臨床応用—, 13~20, クインテッセンス出版, 東京, 1986.