原著論文

ラミネートマウスガード材に関する研究

—吸水性、荷重時の変形と成形前後の厚さ—

岡林 昌彦 清水 公夫 森田 修己

Study on Laminate Mouth Guard Materials

—Water Absorption, Deformation under Loading, Thickness before and after Forming—

Masahiko Okabayashi, Kimio Shimizu and Osami Morita

歯科補綴学的意義

本論文は、熱可塑性マウスガード材の衝撃吸収力、耐久性などに関与するシート材の厚さ、吸水性、荷重による変形ならびに成形後の厚さを検討し、吸水率、浸漬による硬さへの影響ならびに成形後の各部位の厚さを定量的に明らかにしている。これらの結果は、カスタムメイドのラミネートマウスガードの設計、製作にかかわる根拠として活用できるものとする。

抄 録

目的：本研究の目的はカスタムメイドのラミネートマウスガードの設計、製作にかかわる基準を提言することにある。

方法：9種類のシート材を用いて、厚さ、吸水性、定荷重下における変形ならびに成形後のマウスガードの各部の厚さを評価した。

結果：1. 各製品ともにシート材は均一な厚さであった。2. 吸水率は、D 20 (Erkodur 2.00 mm) が最大で、F 4 (Erkoflex 4.00 mm) が最小であり、Es (Essix) と Pr (Pro-form) は同程度であった。3. 定荷重による変形率は浸漬によって Erkodur は増加し、Erkoflex は減少したが、Es と Pr では浸漬による影響は認められなかった。4. 成形後の厚さは、すべての材料、積層成形、組合せ成形において減少し、Erkodur, Erkoflex, Erkoflex と Erkodur, ならびに Erkoflex 間の組合せ成形では、咬合面部が 10～20% であり、他の部位は 30～46% であった。一方、Es, Pr では口蓋側歯面正中部は 2～4% であり、他の部位は 26～54% の範囲で減少した。

結論：本論文は、マウスガードシート材の吸水性、浸漬による硬さへの影響ならびに成形後のマウスガード各部の厚さを定量的に明らかにし、カスタムメイドのラミネートマウスガードの設計、製作に関する有用な示唆を与えている。

和文キーワード

ラミネートマウスガード, シート材, 吸水性, 変形, 成形後の厚さ

日本歯科大学新潟歯学部歯科補綴学教室第3講座 (主任：森田修己教授)

Department of Complete Denture, The Nippon Dental University, School of Dentistry at Niigata (Chief: Prof. Osami Morita)

受付：2000年8月1日/受理：2000年10月23日

Received on August 1, 2000/Accepted on October 23, 2000

I. 緒 言

スポーツに起因する外傷は、スポーツ本来の目的である健康の保持・増進、体力向上、人間形成など心身両面の発達に反するものであり、その予防対策は重要な課題である。

口腔領域のスポーツ外傷に対する予防対策としては、危険な行為の禁止、防具の使用などがある。なかでもマウスガードは口腔領域の外傷を最小限に押さえるために使用され、その有効性が期待されている^{1,2)}。

マウスガードは Glossary of prosthodontic terms³⁾ によれば、a resilient intraoral device useful in reducing mouth injuries and protecting the teeth and surrounding structures from injuries と定義され、その目的は顎口腔領域の外傷の防止である。

スポーツに起因する歯科領域の外傷は歯の破折・脱臼、顎骨の骨折、軟組織の損傷などであり、特にコンタクトスポーツにおいてその頻度は高い⁴⁻⁶⁾。スポーツ時におけるマウスガードの使用は顎口腔に加わる衝撃を吸収し、損傷から保護することができるという理由から推奨されている⁷⁻⁹⁾。

カスタムメイドのマウスガードは歯列模型上に蠟形成して、これを軟性材料に置換して製作する方法と、市販されている熱可塑性シート材料を軟化・圧接して製作する方法がある。熱可塑性のシートを歯列模型に軟化・圧接して製作するマウスガードは、製作が容易で適合性なども優れていることから広く使われている¹⁰⁻¹²⁾。しかしこの方法で製作されるマウスガードでは、部分的な厚さや硬さの調節が困難となることがある。

最近では、このようなマウスガードの欠点を補うものとして、複数の厚さや硬さの異なるシートを組み合わせるラミネートのマウスガードが注目¹¹⁻¹³⁾されている。しかし、マウスガード材料の選択、厚さ・外形などマウスガード設計に関する客観的基準は確立されていない。

そこで本研究は、ラミネートマウスガード設計にかかわる基本的事項を明らかにすることを目的とし、各種マウスガードシート材の厚さ、吸水性、荷重時の変形と成形後の厚さについて検討した。

II. 研究方法

1. 材料および成形前のシート材の厚さ測定

材料(表1)には、copolyesterを主成分とする Erkodur と、エチレン-酢酸ビニル共重合体を主成分とする Erkoflex, Essix, ならびに Pro-form を使用した。各材料の略号を表中に示し、以下略号で表示する。

成形前のシート材の厚さの測定には、測定部位を規制するガイド板(図1)を用いて、各シート材ともに5試料について9部位の厚さを Nikon 社製デジマイクロメータ(ME 501)にて測定し、平均値と標準偏差を算出した。

表 1 Materials used in this study
実験材料

Material	Manufacturer	Code	Indicated thickness
Erkodur 0.6 mm	Erkodent	D 6	0.60 mm
〃 0.8 mm	〃	D 8	0.80 mm
〃 1.0 mm	〃	D 10	1.00 mm
〃 2.0 mm	〃	D 20	2.00 mm
Erkoflex 2.0 mm	〃	F 2	2.00 mm
〃 3.0 mm	〃	F 3	3.00 mm
〃 4.0 mm	〃	F 4	4.00 mm
Essix	Raintree Essix	Es	4.0 mm
Pro-form	Dental Resource	Pr	4.0 mm

図 1 Measuring points (○) of the thickness of materials used in this study before forming
成形前のシート材の厚さの測定部位(図中の○印)

図2 Schematic illustration of the working model and measuring points (A~H) after forming
作業模型の模式図と成形後の各測定点 (A~H)

2. 吸水率試験および分析

吸水率試験は JISK 7209 (プラスチックの吸水率および沸騰水吸水率試験方法) に従って行った¹⁴⁾。本実験に使用した材料は D 20, F 4, Es, Pr の 4 種類である。試験片は一辺 50 ± 1 mm の正方形として切り出した。試験片の数は各材料 5 試料とした。試験片の状態調節は、 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ に保った恒温槽中で 24 時間乾燥し、室温のデシケータ中で放冷した。浸漬液は蒸留水を使用し、 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ と $37 \pm 1^\circ\text{C}$ で浸漬し、24 時間後と 48 時間後の吸水率を A 法で求め¹⁴⁾、平均値をもって各材料の吸水率とした。

分析は、各材料ごとに浸漬時間条件間で対応のある平均値の差の検定を行った。

3. 荷重時の変形量の測定および分析

荷重時の変形量は、セイキ社製多用途型定荷重圧縮試験器 (A-001) を用い、浸漬前と 24°C 48 時間蒸留水中浸漬後の 2 時点において、直径 120 mm の円形シートである D 6, D 8, D 10, F 2, F 3, F 4, と一辺が 125 mm の正方形シートである Es ならびに Pr に 5, 10, 20 kgf の荷重をかけ、各荷重 15 秒後の変

形量を NEC San-ei 社製ダイヤルゲージ (9 E 08-D 1-10) にて測定した。試料数は各材料 5 試料とした。測定には直径 10 mm の鋼球を用い、任意の 3 点を測定して平均値を求め、変形率〔荷重前の厚さ (a) に対する荷重後の変形した厚さ (b) の割合 (b/a)〕を算出し、5 試料の平均値をもって各材料の変形率とした。

分析は、浸漬前と浸漬後との間で対応のある平均値の差の検定を行った。

4. 成形方法、成形後の厚さの測定および分析

作業模型は、ニッシン社製 500 A 上顎模型を原型とした図 2 に示す寸法のアクリリックレジン製歯列弓原型を製作し、この原型をシリコンラバー印象材を用いて印象採得し、超硬石膏を注入して作製した。成形は、この模型上で D 6, D 8, D 10, F 2, F 3, F 4, Es ならびに Pr を軟化・圧接して行った。

F 2, F 3, F 4, D 6, D 8, D 10 の成形には、Erkodent 社製 Erkopress (Es 2002) を、Pr と Es の成形には Keystone 社製バキュームアダプター (Model 101) を用い、各メーカーの指示する操作法によって模型に軟化・圧接した。

成形は F 2, F 3, F 4, D 6, D 8, D 10, Pr, Es のおのおの、F 2, F 3, F 4 に D 6, D 8, D 10 を積層する 2 層構成 (以下、積層成形)、ならびに F 2, F 3, F 4 の組合せ (以下、組合せ成形) で行った。試料数は各材料、積層成形、組合せ成形ともに 5 試料とした。

成形後の厚さの測定部は、図 2 に示す中切歯唇側歯面中央部 (A)、左側犬歯唇側歯面部 (B)、左側第一大臼歯頬側歯面部 (C)、左側第一小臼歯咬合面部 (D)、左側第一大臼歯咬合面部 (E)、中切歯舌面歯面中央部 (F)、左側第一小臼歯口蓋側歯面部 (G) および左側第一大臼歯口蓋側歯面部 (H) の 8 カ所とした。厚さは、Mitu-toyo 社製マイクロメータ (BMS-25) を用いて測定し、各測定部位ごとに減少率〔成形前の厚さ (a) に対する成形後の変形した厚さ (b) の割合 (b/a)〕を算出し、5 試料の平均値を成形による減少率とした。

III. 結 果

1. 成形前のシート材の厚さ

表 2 に、各シート材の厚さの平均値と標準偏差を示した。

2. 吸水率

表 3 に 24°C 水中浸漬、表 4 に 37°C 水中浸漬における D 20, F 4, Es ならびに Pr の吸水率と検定結果を

表 2 Thickness of materials used in this study before forming
成形前のシート材の厚さ

Material	Thickness (mm)
D 6	0.64 (0.01)
D 8	0.78 (0.01)
D 10	0.98 (0.01)
F 2	1.99 (0.02)
F 3	3.01 (0.01)
F 4	3.96 (0.02)
Es	3.56 (0.15)
Pr	3.61 (0.10)

() : S.D.

示した。吸水率は、各浸漬条件とも D 20 が最大で F 4 が最小であり、Es と Pr は同程度であった。24°C の浸漬では D 20, Es, Pr において、また 37°C 浸漬

表 3 Water absorption rate in distilled water at 24°C
24°C 水中浸漬における吸水率 Unit (%)

Material	Length of immersion	
	24 hours	48 hours
D 20	0.32 (0.01)	0.40 (0.01)**
F 4	0.21 (0.01)	0.22 (0.01)
Es	0.24 (0.01)	0.25 (0.01)*
Pr	0.24 (0.01)	0.25 (0.01)**

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ () : S.D.

表 4 Water absorptiton rate in distilled water at 37°C
37°C 水中浸漬における吸水率 Unit (%)

Material	Length of immersion	
	24 hours	48 hours
D 20	0.45 (0.01)	0.55 (0.01)**
F 4	0.24 (0.01)	0.25 (0.01)**
Es	0.28 (0.01)	0.28 (0.01)
Pr	0.28 (0.01)	0.29 (0.01)

** : $p < 0.01$ () : S.D.

表 5 Rate of deformation under the statical loading before and after immersion in distilled water

浸漬前後の荷重時の変形率

Unit (%)

Material	Immersion	Load		
		5 kgf	10 kgf	20 kgf
D 6	Before	0.04 (0.01)	0.08 (0.02)	0.14 (0.01)
	After	0.04 (0.01)	0.08 (0.01)	0.15 (0.01)
D 8	Before	0.04 (0.01)	0.06 (0.01)	0.12 (0.01)
	After	0.05 (0.01)	0.08 (0.00)	0.13 (0.01)
D 10	Before	0.03 (0.01)	0.05 (0.01)	0.10 (0.01)
	After	0.04 (0.00)**	0.06 (0.00)**	0.11 (0.00)**
F 2	Before	0.23 (0.00)	0.37 (0.01)	0.63 (0.02)
	After	0.22 (0.00)**	0.36 (0.00)**	0.57 (0.01)*
F 3	Before	0.18 (0.01)	0.28 (0.00)	0.46 (0.01)
	After	0.17 (0.01)**	0.27 (0.01)**	0.43 (0.00)**
F 4	Before	0.14 (0.01)	0.24 (0.00)	0.38 (0.00)
	After	0.14 (0.01)**	0.22 (0.00)**	0.36 (0.00)**
Es	Before	0.13 (0.01)	0.21 (0.01)	0.33 (0.01)
	After	0.13 (0.01)	0.21 (0.01)**	0.33 (0.01)**
Pr	Before	0.15 (0.00)	0.25 (0.01)	0.39 (0.01)
	After	0.15 (0.00)	0.24 (0.01)	0.38 (0.01)

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

では D 20, F 4 において浸漬時間との間に有意差を認め、48 時間後には増加した。

3. 浸漬前後の荷重時の変形率

表 5 に、浸漬前と浸漬後 (24°C 蒸留水中, 48 時間浸漬) の荷重時の変形率の平均値と標準偏差および検定結果を示した。変形率は、全試料ともに荷重の増加に伴い増加し、いずれの荷重においても D 10 が最小、F 2 が最大であり、厚さが厚いもののほうが小さい変形率を示した。D 8, D 10 では浸漬により増加し、一方 F 2, F 3, F 4 では減少したが、Es, Pr では浸漬による影響は認められなかった。

4. 成形後の厚さの減少率

表 6 に、各材料における成形後の厚さ減少率の平均値と標準偏差を示した。成形後の厚さはすべての材料で減少した。

表 7 に F 2, F 3, F 4 のおのおのに D 6, D 8, D 10 を積層成形した場合の、各測定部位における厚さ減少率の平均値と標準偏差を示した。成形後の厚さはすべての積層成形で減少した。

表 8 に F 2, F 3, F 4 の組合せによる組合せ成形した場合の、各測定部位における厚さ減少率の平均値と標準偏差を示した。成形後の厚さは、すべての組合せ成形で減少した。

IV. 考 察

マウスガード材料には、外力に対する優れた緩衝吸収能と分散能を有し、そして加工が容易で適合性が良好で耐久性があり、さらには無味無臭であるなどの条件を満たすものが求められる^{11,15)}。マウスガード材としては、エチレン-ビニールアセテート (EVA) 共重合体、ポリビニール塩化物、天然ゴム、軟性アクリリックレジン、ポリウレタン¹⁶⁾などがある。今日では、カスタメイドのラミネートタイプマウスガード用材料としては、エチレン-酢酸ビニール共重合体を主成分とするシートが市販されており、容易に入手することができる。

ラミネートタイプのマウスガードは衝撃が集中しやすく、損傷の多い上顎前歯部や唇・頬側への転移歯の周囲、下顎に加わった衝撃力を上顎・頭蓋に伝達する

上下顎咬合面間などに部分的に厚さや硬さの異なる材料を積層したマウスガードである。この方法によるマウスガードは、従来のカスタムメイドマウスガードの欠点を補い、かつ多くの利点があることから、今後広く普及するものと考えられる。また付加的な利点として複数の色のシートを組み合わせることでチームカラーに合わせたり、識別用のネームやマーク、背番号、ロゴなどを容易に入れることが可能になる¹³⁾。

1. 研究方法

本研究に用いた材料は熱可塑性樹脂板である。D 6, D 8, D 10, D 20, F 2, F 3, F 4 は直径 120 mm の円形シートであり、一方 Es と Pr は一辺が 125 mm の正方形のシートである。Es と Pr は硬・軟の 2 層構造になっており、前歯正中部口蓋側相当部に Es, Pr の材質より硬い彩色したハート状の薄片が入っている。

マウスガードの性能は材質の特性だけでなく、成形後の最終的な材料の厚さや形態、衝撃の挙動ならびにそのほかの要因などの設計によっても左右されるものと考えられる。したがって、各材料の成形前の厚さや各シートの厚さの均一性の検査は、成形後の安定した厚さを確保する観点からも把握しておくべきと考える。

マウスガード材の吸水性は室溫水中保管を想定した 24°C 水中浸漬と、口腔内環境条件を想定した 37°C 水中浸漬条件にて比較検討した。さらに、吸水が硬さに及ぼす影響を明らかにするために、浸漬試験の前後において定荷重下の変形量を測定し、比較検討した。

カスタメイドのラミネートマウスガード材の厚さは、軟化・圧接成形後には減少することが知られている^{11,17)}。咬合面では 25%、唇側や舌側では約 50% 減少する¹¹⁾ことから Padilla ら¹²⁾は、最終的には 3~4 mm の厚さになるように 2 枚あるいはそれ以上の EVA 材を積層成形し、唇側および咬合面では 3 mm、舌側では 2 mm 程度にすることの必要性を報告している。マウスガードに十分な機能と耐久性を付与するには、設計に先立って軟化・圧接による厚さの減少と、均等な咬合接触を確保するための咬合調整による厚さの減少を予測した適切な厚さのシートを選択しておくことが必要である。そこで成形後の各部位における厚さを、前歯部では中切歯唇側および口蓋側歯面

表 6 Rate of reduction in thickness due to forming of 8 kinds of sheet materials
各材料における成形後の厚さ減少率

Unit (×100%)

Measuring point	Material							
	D 6	D 8	D 10	F 2	F 3	F 4	Es	Pr
A	0.33(0.02)	0.36(0.01)	0.36(0.01)	0.37(0.02)	0.35(0.01)	0.37(0.01)	0.29(0.03)	0.28(0.01)
B	0.32(0.01)	0.34(0.02)	0.36(0.02)	0.36(0.02)	0.32(0.02)	0.34(0.03)	0.27(0.03)	0.27(0.02)
C	0.36(0.02)	0.35(0.02)	0.36(0.01)	0.36(0.02)	0.32(0.02)	0.32(0.02)	0.26(0.02)	0.27(0.02)
D	0.13(0.02)	0.11(0.02)	0.14(0.02)	0.13(0.02)	0.13(0.01)	0.11(0.01)	0.36(0.02)	0.33(0.04)
E	0.15(0.02)	0.14(0.01)	0.15(0.01)	0.14(0.01)	0.13(0.01)	0.12(0.01)	0.33(0.03)	0.32(0.02)
F	0.43(0.04)	0.45(0.04)	0.42(0.03)	0.40(0.01)	0.39(0.02)	0.38(0.02)	0.04(0.01)	0.02(0.01)
G	0.45(0.01)	0.43(0.03)	0.45(0.02)	0.43(0.02)	0.42(0.03)	0.40(0.04)	0.53(0.03)	0.54(0.06)
H	0.39(0.01)	0.34(0.01)	0.36(0.01)	0.35(0.02)	0.32(0.03)	0.30(0.02)	0.48(0.02)	0.51(0.03)

() : S.D.

表 7 Rate of reduction in thickness due to forming of Erkoflex in combination with Erkodur
Erkoflex と Erkodur による積層成形後の厚さ減少率

Unit (×100%)

Material	Measuring point							
	A	B	C	D	E	F	G	H
D 6	0.32(0.04)	0.31(0.02)	0.33(0.03)	0.13(0.03)	0.19(0.02)	0.46(0.01)	0.46(0.03)	0.39(0.02)
F 2 D 8	0.31(0.03)	0.32(0.04)	0.35(0.03)	0.15(0.04)	0.20(0.04)	0.40(0.03)	0.41(0.04)	0.40(0.02)
D 10	0.30(0.03)	0.30(0.03)	0.31(0.02)	0.14(0.02)	0.19(0.03)	0.42(0.03)	0.43(0.02)	0.39(0.02)
D 6	0.36(0.03)	0.35(0.03)	0.34(0.02)	0.13(0.02)	0.16(0.03)	0.43(0.02)	0.41(0.03)	0.38(0.01)
F 3 D 8	0.34(0.02)	0.33(0.02)	0.34(0.02)	0.14(0.02)	0.18(0.03)	0.39(0.02)	0.39(0.01)	0.37(0.02)
D 10	0.37(0.01)	0.37(0.02)	0.36(0.04)	0.14(0.02)	0.15(0.01)	0.37(0.02)	0.38(0.02)	0.37(0.03)
D 6	0.35(0.01)	0.38(0.03)	0.38(0.03)	0.15(0.01)	0.16(0.01)	0.37(0.02)	0.39(0.03)	0.36(0.01)
F 4 D 8	0.34(0.01)	0.34(0.02)	0.35(0.01)	0.14(0.01)	0.16(0.03)	0.32(0.02)	0.33(0.03)	0.34(0.01)
D 10	0.37(0.01)	0.36(0.02)	0.36(0.02)	0.14(0.02)	0.16(0.02)	0.35(0.01)	0.37(0.03)	0.36(0.02)

() : S.D.

表 8 Rate of reduction in thickness due to forming of Erkoflex in combination with Erkoflex
Erkoflex の組合せ成形後の厚さ減少率

Unit (×100%)

Material	Measuring point							
	A	B	C	D	E	F	G	H
F 2 + F 2	0.38(0.02)	0.35(0.03)	0.35(0.02)	0.10(0.02)	0.11(0.02)	0.38(0.02)	0.40(0.02)	0.37(0.01)
F 2 + F 3	0.39(0.02)	0.36(0.02)	0.35(0.02)	0.10(0.02)	0.11(0.01)	0.37(0.01)	0.39(0.01)	0.37(0.02)
F 2 + F 4	0.40(0.01)	0.39(0.01)	0.37(0.02)	0.14(0.02)	0.12(0.01)	0.35(0.02)	0.37(0.02)	0.36(0.02)
F 2 + F 3 + F 2	0.38(0.01)	0.36(0.02)	0.36(0.01)	0.14(0.01)	0.13(0.01)	0.41(0.02)	0.40(0.01)	0.41(0.01)
F 2 + F 4 + F 2	0.40(0.02)	0.36(0.02)	0.38(0.01)	0.13(0.01)	0.13(0.01)	0.34(0.02)	0.37(0.02)	0.38(0.01)
F 3 + F 3	0.39(0.02)	0.35(0.02)	0.33(0.02)	0.11(0.03)	0.13(0.01)	0.34(0.03)	0.35(0.03)	0.35(0.02)
F 3 + F 4	0.40(0.01)	0.37(0.01)	0.34(0.01)	0.14(0.01)	0.14(0.02)	0.35(0.01)	0.38(0.02)	0.37(0.02)
F 3 + F 2 + F 3	0.39(0.01)	0.36(0.01)	0.33(0.01)	0.11(0.02)	0.11(0.01)	0.38(0.01)	0.37(0.01)	0.37(0.01)
F 4 + F 4	0.40(0.01)	0.39(0.01)	0.38(0.01)	0.12(0.01)	0.12(0.01)	0.38(0.01)	0.40(0.02)	0.37(0.01)

() : S.D.

の中央部と犬歯唇側歯面部の厚さを、臼歯部では第一小臼歯と第一大臼歯の咬合面および頬・口蓋側歯面部の厚さを測定し、成形後の厚さ減少率を求めた。

2. 結果

この種の研究においては、成形前のシート厚さやシート厚さの均一性の把握が必要である。そこで、

シート厚さについて各材料ごとに試料と測定部位を因子とする二次元配置分散分析を試みたところ、各材料ともに試料間には高度に有意な差が認められたが、測定部位間には有意な差がみられなかった。これらのことから、各材料ともに各シートの厚さには差があるが、均一な厚さのシートであるといえる。また D 6, D 8, D 10, F 2, F 3 ならびに F 4 の実測値の厚さは、Es, Pr と比べてメーカーの表示値に近似していることから、Erkodur と Erkoflex は Es, Pr と比較して品質管理が優れていることが推察される。

本研究における吸水率は、物質が水を吸収する性質を評価する尺度である。吸水率は 4 者のなかで D 20 が最も大きく、F 4 が最小となる傾向がみられ、Es と Pr は同程度であった。マウスガード材の吸水性については Park ら¹¹⁾、Bishop ら¹⁵⁾、Going ら¹⁶⁾の報告がある。Going らは、エチレン-酢酸ビニール共重合体を主成分とするカスタムメイドマウスガードの吸水率を調べ、EVA の吸水率はアクリリックレジン¹⁷⁾の約 1/6~2/6 程度であることを、また、Park ら¹¹⁾の研究からは、室温 24°C から体温 37°C までの温度上昇で吸水率は約 30% 増加することが読み取れる。本研究では、浸漬温度、時間による影響は D 20 が最も大きく、D 20 の吸水率は室温の 24°C から体温の 37°C までの温度上昇で 48 時間後には約 40% 増加し続けることが、また、F 4 では約 20%、Es と Pr では約 17% 増加し続けることが予測される。したがって、水中における安定性は D 20 が F 4, Es および Pr と比較して劣性であることがわかった。軟化・圧接による Erkodur と Erkoflex との強固な接着は期待できない。したがって、D 20 の吸水性が F 4 より高いことから、F 2, F 3, F 4 によるラミネートマウスガードの補強材、あるいは圧分散の目的で D 6, D 8, D 10 などを用いる場合には、積層間に介在させて積層間の確実な溶着を図ることが、ラミネートマウスガードの水中安定性や耐久性などを向上させる一つの要点となるものと考えられる。

Bishop ら¹⁵⁾は、吸水性の高いマウスガード材は口腔内で唾液を吸水し、寸法変化を起こし維持力を低下させるとし、吸水性の観点からは酢酸ビニールの含有量は 18% が最適であると報告している。一方 Park ら¹¹⁾は、Pro-form と 4 mm の EVA (Dental Resources) マウスガード材について、24°C と 37°C に

おいて 24 時間後と 48 時間後の吸水率を調べ、Pro-form の吸水率は 4 mm の EVA 板よりも低いことを報告している。われわれの研究に用いた材料の酢酸ビニールの含有量は定かではないが、Es と Pr 間の吸水性について対応のない平均値の差の検定を試みたが、Es と Pr との間には有意差が認められなかった。このことから、これらのシートがともにエチレン-酢酸ビニール共重合体を主成分としていること、ならびに酢酸ビニールの含有量が類似していることによるものと考えられる。

マウスガードの吸水率についてはいくつかの報告^{11,15,16)}がみられるが、マウスガード材の吸水がその硬さにどの程度影響しているか不明である。本研究で得られたマウスガードシート材の変形率は、材料自体による衝撃吸収能と材質の耐久性の程度を示すものであり、マウスガードシート材を用いたカスタムメイドのラミネートマウスガードの設計、保管などにかかわる客観的情報としての意義を有しているものと考えられる。本研究の結果は、シート材の組成が同一であればシート材の厚さが増すと変形率は減少し、衝撃吸収能が高まることが、D 6, D 8, D 10 では吸水により、衝撃吸収能の低下が、一方 F 2, F 3, F 4 では衝撃吸収能が高まることが推論される。一方、Es と Pr は浸漬前と浸漬後との間に有意差がみられなかったことから吸水による硬さの変化がなく、吸水による衝撃吸収能への影響は少ないものと考えられる。

マウスガードの機能を有効に発揮させるためには、マウスガード材料に適切な衝撃吸収能を発揮させるだけの厚さを付与することが重要であるが、その厚さはスポーツ種目や被覆部位などについても考慮すべきである。Park ら¹¹⁾は、カスタムメイドマウスガードの咬合面と側面の減少率は、それぞれ 20, 50% であることを、また、石島ら¹⁷⁾はシートタイプ材料の圧接後の厚さの減少率は最大で約 28%、最小で約 9% であり、そのほとんどが 20% 前後であったと報告している。著者らの結果(表 6)では、材料、厚さによる大きな影響はみられず、部位によって違いがあることが明らかになった。本研究の結果は Erkodur, Erkoflex では唇・頬側歯面 (A, B, C) の厚さの減少率は約 35%、咬合面部 (D, E) では約 13%、口蓋側歯面部 (F, G, H) では約 40% であり、咬合面部が最も小さく口蓋側歯面部が最大であった。つまり成形さ

れる際に、咬合面部が平行にかつ最初に接触することによってより厚くなったもので、また、唇・頬・口蓋側の歯面部は垂直方向に引き延ばされることにより、薄くなったものと考えられる。一方、Es と Pr では唇・頬側歯面部は約 27%、咬合面部は 32~36%、口蓋側歯面の G, H は 48~54% であり、中切歯口蓋側歯面中央部ではほとんど厚さが減少しなかった。このことは、この部にハート型の着色した硬い材質の薄板の EVA が埋入されている構造によるものである。このハート型の薄板は、上顎前歯口蓋側部のマウスガードの補強ならびにマウスガードの咬合面部の厚さを規制する前歯部におけるストッパーとしても役立つものと考えられる。

Park ら¹¹⁾は、9% EVA シートを中間にして外面を 28% EVA シートで挟んだカスタムメイドマウスガードの開発を提案し、この形状は口腔に加わる外力を最大限に吸収緩衝し、マウスガードの機能を危険にさらすことなく、より薄いマウスガードを作ることにより快適さを供給すると述べている。マウスガードの口腔内の保護機能を妥協させることなく、マウスガード材の補強と圧分散を図り、より薄く快適なカスタムメイドのラミネートマウスガードを開発するために F2, F3, F4 と D6, D8, D10 との積層成形、ならびに F2, F3, F4 の組合せ成形を行い、成形後の各部の厚さを検討した (表 7, 8)。Elkoflex に Erkodure を積層成形した場合の厚さ減少率 (表 7) は、A, B, C では約 34%, D, E では約 15%, F, G, H では約 39% となり、この結果は表 6 から読みとることができる A, B, C の平均値 35%, D, E の平均値 13%, F, G, H の平均値 40% と類似している。したがって、Elkoflex に Erkodure を積層成形する場合は、表 6 の減少率をもって成形後の厚さが予測できるものと考えられる。

Elkoflex 間で組合せ成形した場合の厚さ減少率 (表 8) は、A では約 39%, B では約 37%, C では約 35%, D, E では約 12%, F では約 37%, G では約 38%, H では約 37% であり、この値は表 6 の F2, F3, F4 における A の 36%, B の 34%, C の 33%, D, E の 13%, F の 39%, G の 42%, H の 32% と比較すると、2~5% の増減の範囲にあることを示している。上顎に用いるマウスガードの厚さは、スポーツの種目や被覆部位によっても異なるが、直接

的な外力が加わりやすい前歯部唇側で約 3 mm、直接的な外力が加わりにくい臼歯部頬側では約 2 mm、咬合面部では安静空隙量を目安として決めるという記述がみられる¹²⁾。例えば、F4 を用いて成形した場合には唇・頬側面の厚さは約 2.6 mm、咬合面は 3.5 mm、口蓋側は 2.6 mm の厚さになると予測され、咬合面部の厚さは確保される可能性がある。また Es, Pr を用いた場合には唇・頬側面は 2.6 mm、咬合面は 2.6 mm となり、上記の厚さの確保は 1 枚のシートでは不可能となる。ちなみに、唇側面部 3 mm、頬側面部 2 mm、咬合面部 3 mm、口蓋側面部 2 mm というマウスガード厚さを確保するには、複数のシート厚さの和が 5 mm 以上になるシートの組合せでラミネートすることが必要である。表 8 からは F2+F3 から F4+F4 まだがその対象となる。例えば、F2+F3 の組合せによる積層成形後の厚さは A は約 3.1 mm, BC は 3.3 mm, DE は 4.5 mm, F は 3.2 mm, G は 3.1 mm, H は 3.2 mm になると予測され、またボクシングなどの格闘技用のマウスガードでは直接的な外力が加わりやすい前歯部唇面においてやや厚くし、4 mm の厚さを付与する場合には、F2+F4 の組合せでラミネートした場合には AB において 3.60 mm となり、4 mm の厚さは確保できないことになるので、複数のシート厚さの和が 7 mm 以上となるシートの組合せが必要となる。例えば F2 と F3 と F2 の 3 枚の組合せでは、A (前歯唇側正中中部歯面) は 4.34 mm となり、また F3 と F4 の組合せでは A は 4.20 mm となると予測される。このように表 8 は、Elkoflex を組み合わせてラミネートマウスガードを設計する際に、各部の厚さが事前に予測でき、シートの厚さを選択する根拠として活用できるものと考えられる。

V. 結 論

カスタムメイドのラミネートマウスガード設計、製作にかかわる基準を明らかにする目的で、市販の熱可塑性マウスガードシート材の厚さ、吸水性、吸水による荷重時の変形量への影響、ならびに成形後の各部位における厚さを定量的に比較検討し、以下の結論を得た。

1. 各製品ともにシート材は均一な厚さであった。
2. 吸水率について

1) D 20 が最大で F 4 が最小であり, Es と Pr は同程度であった。

2) 24°C で浸漬した場合, D 20, Es, Pr では 48 時間浸漬は 24 時間浸漬よりも大であったが, F 4 では浸漬時間による影響は認められなかった。一方, 37°C で浸漬した場合, D 20, F 4 では 48 時間浸漬後には増加したが, Es, Pr では浸漬時間による影響は認められなかった。

3) 全材料ともに 37°C 浸漬において増加した。

3. 浸漬前後の荷重時の変形率について

1) D 10 が最小で, F 2 が最大であった。

2) Erkodur では浸漬によって増加したが, 一方 Erkoflex は減少した。しかし, Es, Pr では浸漬による影響を認めなかった。

4. 成形後の厚さはすべての材料, 積層成形, 組合せ成形において減少した。

以上の結果は, マウスガード材自体の応力分散や耐久性を評価する尺度として, またカスタムメイドのラミネートマウスガードの設計, 製作に関する基準として活用できると考える。

本研究遂行にあたり, ご助言・ご協力いただきました本学新潟歯学部歯科補綴学教室第 3 講座小司利昭助教授をはじめ教職員諸兄に深く感謝いたします。

なお, 本論文の内容は, 平成 11 年度日本補綴歯科学会関越支部学術大会 (平成 11 年 9 月 23 日, 宇都宮), 第 11 回日本スポーツ歯科医学会学術大会 (平成 12 年 6 月 24 日, 東京) において発表した。

文 献

- 1) Johnsen DC, Winters JE. Prevention of intraoral trauma in sports. Dent Clin North Am 35 : 657-666, 1991.
- 2) Flanders RA, Mohandas B. The incidence of orofacial injuries in sports, a pilot studies in Illinois. J Am Dent Assoc 126 : 491-496, 1995.
- 3) The nomenclature committee of the academy of prothodontics. Glossary of prothodontic terms (6th ed). J Prosthet Dent 71 : 85, 1994.
- 4) 前田憲昭, 村田保男, 片野 清ほか. 口腔外科領域におけるスポーツ外傷の疫学的調査. 日口外誌 31 : 568-572, 1985.
- 5) Garon MW, Merkle A, Wright JT. Mouth protectors and oral trauma : a study of adolescent football players. J Am Dent Assoc 112 : 663-665, 1986.
- 6) 田中信幸, 林 さゆみ, 鈴木和彦ほか. スポーツ外傷による顎顔面骨骨折の臨床的研究. 口病誌 59 : 571-577, 1992.
- 7) Stenger TM, Lawson EA, Wright TM et al. Mouthguards. Protection against shock to head and teeth. J Am Dent Assoc 69 : 273-281, 1964.
- 8) Josell SD, Abrams RG. Traumatic injuries to dentition and its supporting structures. Pediatr Clin North Am 29 : 717-743, 1982.
- 9) 大山喬史, 篠塚 修, 鈴木るりほか. コンタクトスポーツにおけるカスタムメイドマウスガード. 日歯医学会誌 44 : 576-586, 1991.
- 10) Craing RG, Obrien WJ, Powers JM. Dental Materials. Properties and Manipulation 45-55. St. Louis : C.V. Mosby Co, 1987.
- 11) Park JB, Shall KL, Overton B et al. Improving mouth guards. J Prosthet Dent 72 : 373-380, 1994.
- 12) Padilla R, Dorney B, Balikov S. Prevention of oral injuries. J Can Dent Assoc 31 : 30-36, 1996.
- 13) 小司利昭, 澤口正俊, 榎本友彦ほか. ラミネートマウスガードの製作. 第 10 回日本スポーツ歯学研究学会学術大会抄録集 : 49, 1999.
- 14) 日本規格協会. JIS ハンドブック プラスチック 315-318, 東京 : 日本規格協会, 1989.
- 15) Bishop BM, Davies EH, Von Fraunhofer JA. Material for mouth protectors. J Prosthet Dent 53 : 256-261, 1985.
- 16) Going RE, Loehman RE, Chan MS. Mouthguard materials : their physical and mechanical properties. J Am Dent Assoc 89 : 132-138, 1974.
- 17) 石島 勉, 平井敏博, 齊藤 実ほか. カスタムメイド・マウスガード材料に関する基礎的研究, 第 1 報 厚さについて. 補綴誌 36 : 116-125, 1992.

著者連絡先 : 清水 公夫

〒951-8580 新潟県新潟市浜浦町 1-8

TEL : 025-267-1500 (内線 313)

FAX : 025-267-8906

E-mail : kshimizu@ngt.ndu.ac.jp

Study on Laminate Mouth Guard Materials

—Water Absorption, Deformation under Loading, Thickness before and after Forming—

Masahiko Okabayashi, Kimio Shimizu and Osami Morita

Department of Complete Denture, The Nippon Dental University, School of Dentistry at Niigata
(Chief : Prof. Osami Morita)

J Jpn Prosthodont Soc 45 : 179-188, 2001

ABSTRACT

Purpose : The purpose of this study was to propose criteria for designing a custom-made laminated mouth guard.

Methods : In this paper, nine kinds of sheet materials were used for the experiment. The sheet materials were evaluated as to thickness and water absorption. Furthermore, deformation due to static loading and sheet thickness in various regions before and after forming, were determined.

Results : 1. For all of the sheet materials tested, thickness was almost the same, and these materials were uniform in thickness. 2. The water absorption rate was the maximum for D 20 (Erkodur 2.00 mm), and the minimum for F 4 (Erkoflex 4.00 mm), and the rates of Es (Essix) and Pr (Pro-form) were similar. 3. The rate of deformation due to static loading was increased in the immersion for Erkodur and decreased for Erkoflex, whereas the rates were not changed for Es and Pr. 4. The rate of reduction in thickness due to forming was 10-20% in the occlusal surface for Erkodur, Erkoflex, and Erkoflex in combination with Erkodur or Erkoflex ; however, the rate was 30-46% in other regions. In comparison, for Es and Pr, the rate of reduction was 2-4% in the median palatal tooth surface, and 26-54% in other regions.

Conclusions : In this study, water-absorbing capacity of a mouth guard material, and effects of dipping on the hardness of the mouth guard, were investigated, and the thickness of each part of the mouth guard after forming, was determined. The present results provided useful information for design and construction of custom-made laminated mouth guards.

Key words

laminated mouth guard, sheet material, water absorption, deformation, thickness in forming