原 著 論 文

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2報 衝撃吸収能について

石島 勉 月村 雅史 山口 敏樹
越野 寿 平井 敏博 平沼 謙二*

Studies on Custom-made Mouthguard Materials

Part 2. Shock Absorptive Characteristics

Tsutomu Ishijima, Masafumi Tsukimura, Toshiki Yamaguchi,
Hisashi Koshino, Toshihiro Hirai and Kenji Hiranuma*

Abstract : In part 1, we have reported the reduction of thickness in forming and the deformation under static loading in 10 kinds of the sheet type and 4 kinds of the molding type mouthguard materials. In this paper the shock absorptive ability of their materials were investigated by drop-ball test. The steel ball (64.2 g in weight and 25.0 mm in diameter) was dropped on the materials on the steel table from 200 mm height. Shock wave was picked up by an accelerometer and the magnitude of the shock waves were measured by FFT analyzer.

The results were as follows :

1. In the sheet type materials, the thick group showed higher shock absorptive abilities than the thin group.
2. In the molding type materials, thick specimen showed higher shock absorptive abilities in each materials. Molteno soft showed the highest and Molteno hard and Elastomer showed the lowest shock absorptive abilities in each thicknesses.
3. With the results of thickness and deformation in part 1, it is suggested that the thin group in the sheet type and less than 3.0 mm of Molteno soft, less than 2.0 mm of Molteno regular, less than 1.0 mm of Molteno hard and Elastomer in the molding type are not suitable for custom-made mouthguard material.

Key words : mouthguard, sports injury, shock absorption, FFT analyzing, sports dentistry

東日本学園大学歯学部歯科補綴学第1講座 (主任: 平井敏博教授)

・愛知学院大学歯学部第一歯科補綴学教室 (主任: 平沼謙二教授)

Department of Removable Prosthodontics, Higashi-Nippon-Gakuen University School of Dentistry (Chief: Prof. Toshihiro Hirai)

・The First Department of Prosthodontics, Aichi-Gakuin University School of Dentistry (Chief: Prof. Kenji Hiranuma)
平成3年9月5日受付

I. 緒 言

スポーツに起因する歯科領域の外傷には軟組織の損傷、歯の破折・脱臼、顎骨の骨折等があり、その発生頻度はアメリカンフットボールやラグビーなどのいわゆるコンタクトスポーツにおいて高い¹⁾。このようなスポーツ外傷への対策としては、口腔内に装着するマウスガードの使用が叫ばれている。

マウスガードには既製品あるいは半既製品として市販されているものがあり、選手自身がこれを購入して装着することが可能である。しかし、装着感や機能面などからは、歯科医が歯列模型上で作製するカスタムメイドのマウスガードが優れている²⁾。このカスタムメイドのマウスガードの製作方法には、任意の形態にワックスアップしてこれを弾性材料に置換する方法と、既製の弾性シート材料を歯列膜型上に圧接、成形する方法の2種類があるが³⁾、いずれの方法にしる使用する材料の選択、付与すべき厚さや外形、装着感、耐久性をも含めた総合的な検索が必要である。本研究はこのような観点からカスタムメイド・マウスガードとして適切な材料、厚さを検討したものであり、第1報において各種カスタムメイド・マウスガード材料の成形前後での厚みの変化と、静的荷重時の変形量について報告した⁴⁾。本報はさらに、マウスガードの機能として最も重要な要件の1つである衝撃吸収能について検討したものである。

II. 研究方法

1. マウスガード用材料

検討したカスタムメイド・マウスガード用弾性材料はシートタイプと成形タイプの2種類である(表1)。

シートタイプのマウスガード用材料は、Erkodent社製 Erko-flex の厚さ 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 mm の4種、松風社製ソフトベース S, W の2種、Dental Resources社製 Pro-form clear, blue の2種および Buffalo社製 mouthguard material とサンスター社製マウスガードシートの計10種類である。なお、表中の数値は、第1報⁴⁾で判明した各シート材料前歯中央部の厚さである。

成形タイプのマウスガード用材料は、ポリオレフィン系熱可塑性弾性材料で義歯床用軟質裏装材として市販されているモルテンメディカル社製モルテノソフト、同レギュラー、同ハードの各タイプと、tooth positioner 製作のための弾性材料である Ivoclar 社製エラストマーの計4種類である。

なお、各材料の略号をそれぞれ表の右端に示し、以下略号で表示する。

2. 試料の製作

シートタイプ材料については、各シートの前歯中央部から一辺 20 mm の正方形の試料を5個ずつ製作し、実験に供した。

成形タイプの材料については、それぞれ一辺 20 mm

表 1 検討したカスタムメイド・マウスガード用弾性材料

	商品名	製造社名	前歯中央部厚さ	略号
シートタイプ	ソフトベース S	松風	1.32	Ss
	ソフトベース W	松風	2.69	Sw
	Erko-flex 1.5 mm	Erkodent	1.72	Er 1.5
	Erko-flex 2.0 mm	Erkodent	1.91	Er 2
	Erko-flex 3.0 mm	Erkodent	3.01	Er 3
	Erko-flex 4.0 mm	Erkodent	3.84	Er 4
	Pro-form blue	Dental Resources	3.08	Pb
	Pro-form clear	Dental Resources	3.08	Pc
	mouthguard material	Buffalo	3.72	Bu
	マウスガードシート	サンスター	4.20	Sun
成形タイプ	モルテノ ソフト	モルテンメディカル	—	MS
	モルテノ レギュラー	モルテンメディカル	—	MR
	モルテノ ハード	モルテンメディカル	—	MH
	エラストマー	Ivoclar	—	EL

厚さ (mm)

図1 測定機器（右：自家性落球衝撃試験装置，中央：増幅器，左：FFT モジュールを組み込んだ波形測定機）

の正方形で厚さが1.0, 2.0, 3.0, 4.0 mm の試料を5個ずつ製作し実験に供した。なお、モルテノは試料の厚さを規定するために、加熱・軟化後に各厚みのスペーサーを介在させた状態で、金属板にて圧接・成形した。また、エラストマーは Ivoclar 社の義歯製作システムであるイボカップシステムにより、各厚みに射出成形した。

3. 衝撃試験

各試料の衝撃吸収能を検討するために自家製落球衝撃試験装置を用いた。落球試験は厚さ5 mm のステンレススチール製の試料台の上に各試験試料を載せ、直径25 mm、重さ64.2 g のスチールボールを高さ200 mm から自由落下させ、試料台直下に固定した ENDEVCO 社製 ACCELEROMETER MODEL 22 にて衝撃波を検出し、その出力を日本電気三栄社製 CHARGE AMPLIFIER 6 D 07 を介して横河北辰電気社製 ANALYZING RECORDER MODEL 3655 E にて測定した。また、伝達された衝撃波の周波数分析を行うために横河北辰電気社製 FFT モジュール 3659 20 A を用いた(図1)。測定に際しては伝達された衝撃波の各周波数のパワースペクトラムを合計して平方根演算して得られた overall 値、すなわちトータル実効値を求めた。

試料台に何も介在させないでスチールボールを直接落下させた時の値をコントロールとし、各試料を介在させた時の値と比較検討した。なお測定はそれぞれ5回行い、平均値を測定値とした。

III. 結 果

FFT 分析によるパワースペクトラムの一例を図2

図2 FFT 分析によるパワースペクトラムの一例

図3 シートタイプ材料のトータル実効値

に示す。縦軸にはパワーを dB で、横軸には周波数を kHz で示してある。図中、実線は、コントロールとして、何も介在させず、直接試料台の上にボールを落下させたときのパワースペクトラムを、破線は一例として、MR の 3 mm 試料を介在させたときのパワースペクトラムをそれぞれトレースし、重ね合わせたものである。コントロールにおいては、0~20 kHz のほぼ全域に周波数応答がみられたのに対し、モルテノを介在させた場合、全周波数領域において大きく減少している。各試料を介在させた時の伝達された衝撃波の各周波数のパワースペクトラムを合計して平方根演算して求めたものがトータル実効値であり、以下測定値として示した。なお、試料台に何も介在させないでスチールボールを直接落下させた時の値、すなわちコントロール値は -16.3 dB であった。

1. シートタイプ材料の衝撃吸収能

各シートタイプ材料を介在させた時のトータル実効値は図3に示すごとくであった。トータル実効値は Sun が最も小さく -52 dB、Ss が最も大きく -29 dB であった。

各試料におけるトータル実効値のコントロール値に対する減少量を衝撃吸収能として表示した(図4)。グ

図4 シートタイプ材料の衝撃吸収能

図5 成形タイプ材料のトータル実効値

ラフ中、左から順に Ss, Sw がそれぞれ約 12 dB, 18 dB であり、Er 1.5 が約 14 dB, Er 2 が約 17 dB, Er 3 が約 20 dB, Er 4 が約 31 dB であった。また、Pb と Pc は、両者とも約 18 dB で、透明タイプ clear, 着色タイプ blue と同様の値が得られた。また、Bu は約 27 dB, Sun は約 36 dB であった。

以上のように、トータル実効値のコントロール値に対する減少量を衝撃吸収能とした場合、厚い試料の方が高い衝撃吸収能を示した。なお、10 試料中では、Sun が最も高い衝撃吸収能を示した。

2. 成形タイプ材料の衝撃吸収能

各成形タイプ材料を介在させた時のトータル実効値は図5に示すごとくであった。各材料とも厚さの増加に伴い、小さな値を示した。各材料を同じ厚さで比較してみると、1 mm 試料では MS, MR, MH, EL の 4 種とも、約 -20 dB 前後とほぼ近似した値を示した。2 mm では MS が -28 dB, MR が -25 dB, MH が -22 dB と、軟らかい方が小さな値を示した。なお、EL は -23 dB で MR と MH の中間の値を示した。3 mm 試料では MS が -43 dB, MR が -37 dB, MH が -31 dB

図6 成形タイプ材料の衝撃吸収能

と、順に値が大きくなり、2 mm 試料と同様の傾向を示した。EL は -30 dB で MH と近似した値を示した。4 mm 試料では MS が -52 dB, MR が -49 dB, MH が -38 dB, と順に値が大きくなり、2 mm, 3 mm 試料と同様の傾向を示した。また、EL は -36 dB で、MH よりやや大きな値を示した。

各試料のトータル実効値のコントロール値に対する減少量を衝撃吸収能としてまとめたものが図6である。シート材料と同様に、各試料とも厚さが増すとともに衝撃吸収能が増加する傾向を示した。4 材料中、MS, MR, MH の順に吸収能が小さくなり、EL は MH と近似した吸収能を示した。

IV. 考 察

マウスガードの具備すべき条件として最も重要なものは、外傷に対する保護効果を有することである。このためには、マウスガード用材料には外力が加わった時に変形して、エネルギーを吸収する物理的性質が必要であり、一般的には弾性の高い材料が用いられている。これらの外傷予防効果に関しては種々の方法による報告⁵⁻¹³⁾がなされているが、マウスガード材料についての選択基準やマウスガード各部に付与すべき厚さや外形などに関する客観的基準は未だ確立されていない。特に、カスタムメイド・マウスガード材料として市販されている各種シートタイプ材料に関しては不明な点が多く、さらに成形タイプ材料については、マウスガード材料としての検討は試みられていないのが現状である。

われわれは、第1報において各種シートタイプ材料の成形前後での各部の厚さ、荷重時の動態、また成形タイプ材料の種々な厚さでの荷重時の動態について報

告した⁴⁾。そこで本報ではさらに、マウスガードの機能として最も重要な要件の1つである衝撃吸収能について検討を試みた。

1. 研究方法について

各種マウスガード材料の衝撃吸収能については Craig ら⁶⁾、Going ら⁸⁾が振り子式の衝撃試験装置を、Bishop ら¹⁰⁾は落球式の衝撃試験装置を用いてそれぞれ衝撃試験を行い、はねかえり量を測定することでエネルギー吸収量に換算し、衝撃吸収能について検討している。しかし、これらはマウスガード材料を通して伝達されるエネルギーを評価しているものではない。また、Godwin ら⁷⁾はさらに衝撃を加えた時にマウスガード材料を通して歯面に加わる応力を、歯列模型上に塗布した塗料に生じる亀裂像から評価しているが、客観的な評価法としては問題があると思われる。一方、Hickey ら⁹⁾は死体にマウスガードを装着して、下顎に静的荷重を加え、脳頭蓋各部に生じる応力を検討し、マウスガードの有効性を示唆した。わが国でも須山⁹⁾が下顎に動的な衝撃を加えた時のマウスピースの効果に関する報告を行っているが、有効なマウスガード材らの種類、厚さ等に関しては不明である。また、前田¹¹⁾は、下顎に静的荷重を加える生体力学的な手法で、適切なマウスガード材料、厚さ、形態に関する研究を行っているが、衝撃力が加わった時の様相については検討されていない。これに対し、山本^{12,13)}は落球衝撃試験装置に加速度変換器を応用して、選手自身が調整するいわゆる2層構造のカスタムフィットタイプ・マウスガードの製作を目的とした数種の材料について衝撃吸収能を評価しているが、各種カスタムメイド・マウスガード材料については評価がなされていない。

そこで、われわれはカスタムメイド・マウスガード材料として、シートタイプ材料10種、成形タイプ材料4種を選択し、それぞれの材料の衝撃吸収能を比較検討した。

衝撃力の負荷装置としては自家性落球衝撃試験装置を用い、スチールボールが常に同一位置に落下するように固定部に電磁石を応用した。負荷された衝撃を試料台の直下に固定した加速度変換器により衝撃波として検出し、増幅器を介して、周波数分析を行うためのFFTモジュールを組込んだ波形測定機にて測定した。なお、今回用いたFFTモジュールはアベレーシング機能を有しており、4回繰返しのアベレーシングを行うことによりランダムノイズを減少させることが可能

である。この装置を用い衝撃波のFFT解析を行い、伝達された衝撃波をトータル実効値で評価し、これにより各試料の衝撃吸収能を比較検討した。なお、トータル実効値の単位はdBで表示しており、パワーの減衰に換算すると、10dBの吸収量はパワーが約1/3になることを意味しており、20dBで約1/10、30dBで約1/30、40dBで約1/100になることを意味するものである。

2. シートタイプ材料の衝撃吸収能について

各シートタイプ材料の衝撃吸収能は、厚い試料の方が高い衝撃吸収能を示し、Sunが約36dB、Er4が約31dBと高い衝撃吸収能を示し、この2つはパワーを1/30以下に減衰したことになる。これに対し、厚さの薄い試料は衝撃吸収能は低く、なかでもSsが約12dBと最も低く、パワーを1/3程度に減衰したにすぎないことになる。このように、各シートタイプ材料はそれぞれ厚みが異なり、当然のことながら厚い試料の方が衝撃吸収能は大きくなる。すなわち、薄手のシート材料は衝撃吸収能の面で劣り、また第1報⁴⁾で報告したように30kgfの静的荷重の負荷により永久変形を起こすことから、単独でマウスガード材料として用いることには問題があるといえる。さらに、これらシートタイプ材料は成形時に厚さが減少するため⁴⁾、衝撃吸収能はやや小さくなることを考慮に入れる必要がある。また、今回は、直接的外力が加わる前歯部を想定して実験を行ったが、下顎に加わった外力が間接的に加わることになる臼歯部は、成形後の咬合調整が必要となりさらに厚さが減少するため⁴⁾、Er4、Bu、Sunなどの厚手の材料を選択すべきであると思われる。仮に薄手の材料を使うとしても、単独ではなく重ねて使用するなどの工夫が必要となる。いずれにしても、シートタイプ材料を使用する場合は、各シートの成形時、調整時の厚さの変化に十分留意する必要がある。

3. 成形タイプ材料の衝撃吸収能について

成形タイプ材料は、シートタイプ材料と同様に各試料とも厚さが増すとともに衝撃吸収能が増加する傾向を示した。4種材料間で比較すると、MS、MR、MHの順に吸収能が小さくなり、ELはMHと近似した吸収能を示した。

MR 3mm 試料と、MH および EL 4mm 試料が約20dBの吸収能を示し、パワーを約1/10に減衰したことになる。しかし、1mm 試料では4材料とも吸収能が

3 dB 前後ときわめて低く、衝突に際してエネルギーを吸収し、衝撃力を和らげる役目が発揮できないことになる。すなわち、各成形タイプ材料とも 1 mm の厚さでは、衝撃に対して弾性材料が変形して対応する際の厚みが不足していると考えられる。また、2 mm 試料でも MR, MH, EL は吸収能が 10 dB 以下であり、パワーを 1/3 以下に減衰していないことになる。このように成形タイプ材料でも薄すぎる場合は、シートタイプ材料の薄手のものと同様に、衝撃吸収能の面で問題があると思われる。さらに第 1 報で報告したように、30 kgf の静的荷重を負荷した時に MS では 3 mm 以下, MR では 2 mm 以下, MH および EL では 1 mm 以下の厚さのものには、裂け目、圧痕などの永久変形が生じ、マウスガード材料として適当でないと考える。このため、各成形タイプ材料の使用にあたっては、マウスガード各部にそれぞれ十分な厚さを付与する必要がある。

成形タイプ材料はシートタイプ材料と異なり、必要に応じてマウスガード各部に任意の厚みを与えたり、適切な咬合関係を付与できる利点があるが、マウスガードとしての機能を十分に発揮させるために、材料の選択、必要な厚さの付与に留意しなければならない。また、今回検討した成形タイプ材料はもともとマウスガード用に開発された材料ではなく、シートタイプ材料に比べて製作術式がやや煩雑となる欠点がある。今後マウスガード材料としての条件をみだし、さらに製作がより簡便な材料の開発が望まれる。

V. 結 論

各種カスタムメイドマウス・ガード用材料の衝撃吸収能について検討したところ以下の結果が得られた。

1. シートタイプ材料については、厚手のものがより高い衝撃吸収能を示し、最も厚い材料がパワーを 1/30 以下に減衰したのに対し、最も薄い材料では約 1/3 程度であった。

2. 成形タイプ材料については、4 種材料間では、MS, MR, MH の順に衝撃吸収能が低くなり、EL は MH と近似した吸収能を示した。また、4 種材料とも厚い試料では高い衝撃吸収能を示したが、1 mm 試料では 4 種材料ともトータル実効値の減少量が約 3 dB と低く、第 1 報で報告した静的荷重負荷時の結果と考え合えると、MS では 3 mm 以下, MR では 2 mm 以下, MH および EL では 1 mm 以下の厚さのものはマ

ウスガード材料として不適当であることが示唆された。

本論文の要旨は第 8 回日本顎顔面補綴学会総会 (平成 3 年 3 月, 横浜), および第 2 回スポーツ歯学研究会 (平成 3 年 4 月, 神戸) において発表した。

文 献

- 1) 石島 勉, 齊藤 実, 朝比奈義明ほか: 口腔領域のスポーツ外傷とマウスガードに関する調査, 愛院大歯誌, 27: 673~686, 1989.
- 2) 石島 勉, 平沼 謙二: マウスガードからみたスポーツ歯学に対する考え方, 歯界展望, 75: 935~951, 1990.
- 3) 石島 勉, 田中 收, 平井敏博: スポーツ歯学とマウスガード, 北海道歯科医師会誌, 46: 79~83, 1991.
- 4) 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.
- 5) Hickey, J.C., Morris, A.L., Carlson, L.D., et al: The relation of mouth protectors to cranial pressure and deformation, J Am Dent Assoc, 74: 735~740, 1967.
- 6) Craig, R.G. and Godwin, W.C.: Physical Properties of Materials for Custom-Made Mouth Protectors, J Michigan State Dent Assoc, 49: 34~40, 1967.
- 7) Godwin, W.C. and Craig, R.G.: Stress transmitted through mouth protectors, J Am Dent Assoc, 77: 1316~1320, 1968.
- 8) Going, R.E., Loehman, R.E. and Ming Sam Chan: Mouthguard materials: their physical and mechanical properties, J Am Dent Assoc, 89: 132~138, 1974.
- 9) 須山礼吉: 交通事故における頭部外傷の社会医学的研究 一下顎に対する衝撃実験一(第 4 報) (模型における頭蓋腔内容物の検討とマウスピースの効果について), 日大歯学, 51: 302~312, 1977.
- 10) Bishop, B.M., Davies, E.H. and Fraunhofer, J.A.: Materials for mouth protectors, J Prosthet Dent, 53: 256~261, 1985.
- 11) 前田憲明, 尾上祐悦, 堤 定実ほか: 顎顔面骨の骨折に関する生体力学的研究 第 2 報 マウスガードの開発, 日口外誌, 34: 205~213, 1988.
- 12) 山本鉄雄: マウスプロテクターの機能に関する研究 第 1 報 衝撃吸収試験からの考察, 鶴見歯学, 15: 335~342, 1989.
- 13) 山本鉄雄, 小林文隆: マウスプロテクターの機能に関する研究 第 2 報 ハイブリッド材料についての検討, 補綴誌, 33・81 回特別号: 98, 1989.