

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26462948

研究課題名(和文) マウスガード製作用熱可塑性材料へのガラス繊維強化法の応用

研究課題名(英文) Application of glass fiber reinforcement method to thermoplastic materials for mouth guard

研究代表者

中禮 宏 (Churei, Hiroshi)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教

研究者番号：50431945

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：口腔外傷に対する防護装置であるマウスガードの高機能化を目指し、マウスガード材料へのガラス繊維にて強化する方法を応用・開発を進めるための基礎的研究を行った。市販マウスガード材料をガラス繊維強化材料の母材として、3点曲げ試験による曲げ強さと剥離試験による母材との接着性を基準に評価したところ、エチレン酢酸ビニル共重合体を主成分とした材料の母材としての有用性が確認された。試作ガラス繊維強化材料を用いて、高機能化に有効となる構造について衝撃試験による衝撃吸収特性から評価したところ、緩衝空間を設けることで衝撃が効果的に減弱され、かつその伝播も緩やかなものとなることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to evaluate the effect of fiberglass reinforcement method in MG material for improvement toward high functionality of mouth guard (MG) which is the protective device against the orofacial injury.

The ethylene vinyl acetate copolymer was the most suitable MG material as base material for fiberglass reinforcement method among the commercial MG materials via evaluating the three points bending strength and the delamination strength between the base material and the reinforced material. It was suggested that the setting of buffering space for glass fiber reinforced MG was effective drastically via evaluating the shock absorption properties, which showed shock was attenuated effectively and the spread of impact became slow compared with a conventional base MG material.

Further investigation should be carried out to be satisfied the requirement for the fabrication of MG with clinical applications of fiberglass reinforced material.

研究分野：スポーツ歯学

キーワード：マウスガード ガラス繊維強化 高機能化

1. 研究開始当初の背景

口腔外傷に対するマウスガード(MG)の予防効果は広く知られ、それを裏付けるための実験的材料評価も様々行われ、その有用性も確立してきていた。そのため、乳歯列期、混合歯列期の児童生徒に対しても外傷予防の観点からのMG装着が広く推奨され、さらには、矯正治療を受けながら、競技を行っているような児童・生徒も散見されてきていた。そのような児童・生徒に対しては、MG製作に当たり、萌出中歯冠周囲や矯正装置周囲のブロックアウトをするなど、工夫が必要とされていた。ブロックアウトを行うことによって、MGの効果が低下することが予想されたため、補強する材料や設計の応用が必要とされた。しかし、従来検討された、衝撃の分散効果を向上させる硬質材料をMG材料にて挟み込む方法や、衝撃の分散効果を向上させる軟質材料をMG材料にて挟み込む方法では、いずれも衝撃分散能力の向上が認められたが、厚みが増すことによる装着感の悪化や、MG材料との接着性が乏しいことからMG材料間の剥離が懸念されていた。

一方、プラスチック材料を母材としてガラス繊維にて材料を強化する方法は、工業界では広く知られ、実際、歯科界でも歯冠修復材料や義歯床用材料へ応用されてきていた。我々は研究開始当初には、顎顔面領域の保護装置で、顎顔面骨折後の選手が早期復帰のために装着するフェイスガード(FG)の材料を補強するために、ガラス繊維を応用することで、FGを薄くて軽くできることを報告してきた¹⁾。そのため、このガラス繊維強化法は、熱可塑性の母材にガラス繊維を含浸させることで、MGの厚みを増すことなく衝撃分散効果の向上が期待できるため、応用可能となれば非常に有用と考えられた。しかし、多層構造となるMGにおいて、効果的なガラス繊維の含浸方向やガラス繊維強化材料の効果的な挿入位置など、臨床応用に向けて、具体的に検討していかなければいけない項目も多かった。

2. 研究の目的

(1) 母材の再検討

研究開始当初から早い段階で、MG材料である熱可塑性の母材にガラス繊維を含浸させることで、ガラス繊維強化法がMG材料の強化になることは確認していた²⁾。しかし、MGの衝撃吸収分散反発効果を補強する材料や設計の応用による更なる高機能化において、市販熱可塑性MG材料にガラス繊維強化法を応用するにあたり、市販のMG材料での母材となる素材の再検討から行うこととした。同時に、ガラス繊維を含浸させた場合でも、MG材料間の接着性が損なわれないことを確認することとした。そこで曲げ強度と接着強さをもとにMG補強材料としての基礎的物性の比較検討を行った。

(2) 有効な構造の検討

次いで、ガラス繊維強化法を応用したMG材料の衝撃分散能力に関して、厚みを減弱させることが可能か、さらには可能であればどの程度減弱できるかについて検討するにあたり、まずは強化材料をどのように組み込むことでMGの衝撃吸収分散反発効果を向上させるかの検討を行うこととした。MGの高機能化を考える上で、自動車の構造設計は参考になる。すなわち自動車の衝突事故時の乗員の傷害防止と客室空間の確保を図るため、高強度キャビンで高い耐衝撃性を担保し、車体前後のボディに緩衝空間を設ける工夫がなされている。そこでさらに、MGの衝撃吸収性能をより向上させるために、ガラス繊維による材質強化と緩衝空間の設置をする構造を検討し、その効果を評価することとした。

3. 研究の方法

(1) 母材の再検討

現在、複数の材料を積層してMGを作製するための市販MG材料は、母材には酢酸ビニル共重合体を主成分とするものとポリオレフィン系を主成分とするものがある。その基礎的衝撃吸収分散能力を検討し、酢酸ビニル共重合体を主成分とするものとしてはErkoflex(Ev, 3.0mm厚, Erkodent)を、ポリオレフィン系を主成分とするものとしてはMG21(Po, 3.0mm厚, CGK)を選択した。母材にガラスクロス(Gf, ユニチカ)を加熱プレス成形処理にて含浸加工し、1.0mm厚に仕上げた(EvGf, PoGf)。含浸効果を向上させるために、真空ポンプにて減圧下にて含浸加工を行った(図1)。



図1: ガラスクロス含浸

各試作材料と各母材それぞれ万能試験機を用いて、3点曲げ試験(支点間距離40mm, クロスヘッドスピード1.0mm/min)を実施し、曲げ強さを算出した。接着面以外をフィルムで被覆した試作材料上に吸引型成形器にて母材を加熱・圧接し、24時間放置した後、接着面平行部が幅4mm, 長さ15mmのダンベル型に切断し、これを半切して試験片とし、万能試験機で剥離試験(クロスヘッドスピード50mm/min)を行った。母材と試作材料が剥離するまでの最大荷重を試験片の幅で除したものを接着強さとした。

試料数は各群 5 個とし、材料を要因とする対応のない t 検定 (有意水準; $p < 0.05$) を行った。

(2) 有効な構造の検討

母材に 1) 同様に市販 MG シート (Erkoflex, Erkodent)、補強材にガラスクロス (M100X104H, ユニチカ) を選択し、加熱プレス機にて母材にガラスクロスを含浸加工し、1mm 厚のガラス強化型 MG シートを作製した (Gf)。試験片は次の 3 種で、いずれも 3 mm 厚、直径 50 mm の円盤状シートに調製した (n=各 6); 1) 2mm 厚 Erkoflex に Gf を積層したもの (Gf-Er)、2) 2mm 厚 Erkoflex 中央部に緩衝空間 (直径 20mm) を設定し Gf を積層したもの (Gf-Sp)、3) 3mm 厚 Erkoflex (Er3)。

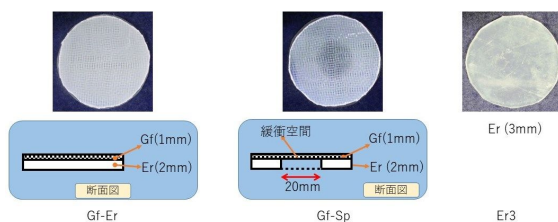


図 2: 試験片の断面図 (3 mm 厚, 直径 50 mm)

衝撃試験は 600 mm 上方から鉄球 (直径 20 mm, 32.6 gf) を自由落下させて行った。試験片なしをコントロールとし、最大荷重 (P1) および最大荷重到達時間 (P1-t) を算出し、分散分析および Tukey's HSD test にて検定した ($p < 0.05$)。

(3) プロトタイプ MG 製作

高機能 MG を想定して複数のシートを積層してガラス強化型のプロトタイプ MG を作製した。1 層目は市販 MG シート Erkoflex の 3mm シートを改良型吸引形成器 (Erkoform™3D, Erkodent) にてメーカー指定の温度にて圧接成形し、前歯部から第一大臼歯遠心 (唇側側は歯肉境移行部から 2mm 上方, 口蓋側は咬合面中心溝 (臼歯部) あるいは歯冠中央部 (前歯部)) で切断した。同様に ERK の 3mm 圧接成形し、前歯部から第二大臼歯遠心 (唇側側は歯肉境移行部から 2mm 上方, 口蓋側は歯頸部) で切断した。プロトタイプ MG は、2 層目を圧接する前に、切り出し成形しておいた 1mm 厚のガラス強化型 MG シートをホットエアバーナーで加熱して左右犬歯間に手指にて圧接成形した後に、2 層目の 3mm シートを圧接した。FRP の挿入により隆起した分は、厚さが同一となるように削除した。

4. 研究成果

(1) 母材の再検討

曲げ強さは 29.7 ± 1.6 MPa (EvGf), 14.8 ± 0.6 MPa (PoGf), 接着強さは 1.90 ± 0.90 N/mm (Ev と EvGf), 0.33 ± 0.20 N/mm (Po と PoGf) であり, Ev-Gf の群が有意に高い値を示した。

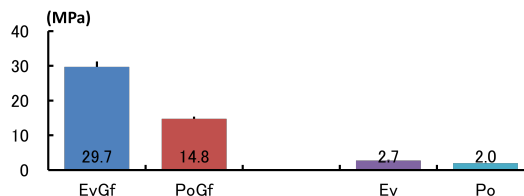


図 3: 曲げ強さ

*: Ev、Po は参考文献¹⁾より

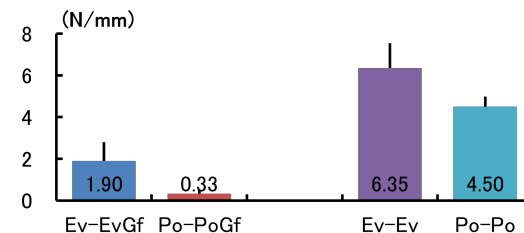


図 4: 接着強さ

*: Ev-Ev、Po-Po は参考文献⁴⁾より

Ev を母材とした Ev-Gf は、曲げ強さが 10 倍以上¹⁾となり、接着強さも母材と母材の接着強さと比較して 1/3 程度⁴⁾までの低下にとどまった。一方 Po を母材とした Po-Gf は、曲げ強さが Ev-Gf の半分程度にとどまり、接着強さも母材と母材の接着強さと比較して 1/10 程度⁴⁾まで低下した。ガラス繊維強化法を MG 高機能化材料に応用する場合、母材は酢酸ビニル共重合体を主成分とする MG 材料とすることが望ましいと考えられた。

(2) 有効な構造の検討

母材の検討から、酢酸ビニル共重合体を主成分とする MG 材料を母材とすることが望ましいことが明らかとなった。そこで、構造の検討においては、酢酸ビニル共重合体を主成分とする強化材料を用いたものを検討することとした。

P1: コントロール 677 ± 12 N に対し、Gf-Sp (335 ± 37 N) < Er3 (405 ± 12 N) < Gf-Er (458 ± 9 N) であった ($p < 0.05$)。P1-t: コントロール 0.22 ± 0.03 msec に対し、Gf-Sp (0.74 ± 0.09 msec) > Er3 (0.54 ± 0.06 msec) > Gf-Er (0.39 ± 0.04 msec) であった ($p < 0.05$)。

表 1: 衝撃試験の結果

	最大荷重	最大荷重到達時間
Control	677 ± 12 N	0.22 ± 0.03 msec
Er3	405 ± 12 N	0.54 ± 0.06 msec
Gf-Er	458 ± 9 N	0.39 ± 0.04 msec
Gf-Sp	335 ± 37 N	0.74 ± 0.09 msec

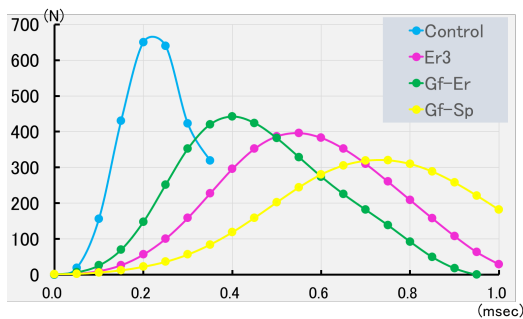


図 5 : 荷重-時間曲線

ガラス繊維強化型 MG 材料で対衝撃面を補強しただけでは衝撃吸収能は向上しないが、緩衝空間を設けることで衝撃が効果的に減弱され、かつその伝播も緩やかなものとなることが示唆された。

(3) プロトタイプ MG 製作

1mm 厚のガラス強化型 MG シートをホットエアーバーナーで加熱することで、MG 形態に成形することは容易に行えた。しかしながら、緩衝空間を設定するために、1) あらかじめ、スペーサーを置いて 1 層目を圧接し、その部分のみガラス強化型 MG シートを圧接する、2) 1 層目およびガラス強化型 MG シートを圧接後、該当部分を内面から削除するなどの方法が考えられたが、前者ではガラス強化型 MG シート圧接時の 1 層目シートの熱変形が問題となり、後者では 1 層目削除時にガラス強化型 MG シートの含浸させたガラス繊維を露出させてしまう問題が解決できず、今後の課題として残ってしまった。

参考文献

- 1) 安部ら. スポーツ歯学 15: 17-22, 2011.
- 2) 中禮ら. デサントスポーツ科学 35: 44-52, 2014
- 3) Fukasawa et al. Dental Traumatology 32: 474-479, 2016
- 4) Ihara et al. Dental Materials Journal 28: 487-492, 2009

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

全 7 論文、査読あり

和田 敬広, 中禮 宏, 上野 俊明, 宇尾 基弘【材料・器械によるスポーツ歯学のイノベーション】FRP とエラストマーを用いた高衝撃吸収性フェイスガード. 日本歯科理工学会誌 35: 325-328, 2016. S Fukasawa, H Churei, RU Chowdhury, T Shirako, S Shahrin, A Shrestha, T Wada, Mo U, H Takahashi, T Ueno. Difference

among shock-absorbing capabilities of mouthguard materials. Dental Traumatology. 32:474-479, 2016
doi: 10.1111/edt.12275

Chowdhury RU, Churei H, Takahashi H, Shahrin S, Fukasawa S, Shrestha A, Negoro T, Ueno T: Suitable design of mouthguard for sports active person with spaced dentition Dental Traumatology. 31: 238-242, 2015.
DOI: 10.1111/edt.12142

Fazal Reza, Hiroshi Churei, Hidekazu Takahashi, Naohiko Iwasaki, Toshiaki Ueno : Flexural impact force absorption of mouthguard materials using film sensor system, Dental Traumatology, 30, 193-197, 2014
DOI: 10.1111/edt.12068

上野俊明, 中禮 宏, 安部圭祐. スポーツ歯科医学の最前線 - 6. フェイスガードの基礎 - 臨床スポーツ医学. 31: 542-546, 2014.

中禮宏, 深沢慎太郎, 高橋英和, 宇尾基弘, 上野俊明: アスリート向け高性能スポーツ・マウスガードの開発 ガラスファイバー強化型新規材料の創製と応用, デサントスポーツ科学, 35: 44 - 52, 2014

Chowdhury RU, Churei H, Takahashi H, Wada T, Uo M, Fukasawa S, Abe K, Shahrin S, Ueno T. : Combined analysis of shock absorption capability and force dispersion effect of mouthguard materials with different impact objects. Dental Materials Journal, 33, 551-556, 2014.
DOI:

http://doi.org/10.4012/dmj.2014-061

〔学会発表〕(計 7 件)

和田 敬広, 中禮 宏, 深沢 慎太郎, 白子 高大, 上野 俊明, 宇尾 基弘 衝撃吸収構造をガラス繊維強化樹脂で強化したフェイスガードの衝撃吸収能評価. 第 27 回日本スポーツ歯科医学会 愛知県歯科医師会館(愛知, 名古屋) 2016.06.

中禮宏. マウスガードの衝撃吸収性能について. 第 21 回日本スポーツ歯科医学会認定研修会 フォーラムミカサ・エコ(千代田区, 東京) 2015.11

Chowdhury RU, Churei H, Mizobuchi, Fukasawa S, Iwasaki N, Sharika S, Shrestha A, Uo M, Takahashi H, Ueno T.

Effective design of custom-made mouthguard for athletes undergoing orthodontic treatment. 103th FDI Annual World Dental Congress BITEC (Bangkok, Thailand) 2015.09

中禮 宏, 深沢慎太郎, 白子高大, 矢野 顕, 福田隆慧, 平田憲雄, 和田敬弘, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明. ガラス纖維強化法を応用したマウスガード材料の高機能化. 第 26 回日本スポーツ歯科医学会 日本歯科大学新潟生命歯学部 (新潟, 新潟) 2015.06

深沢慎太郎, 中禮 宏, 白子高大, 安部 圭祐, 和田敬広, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明. 同一条件下における市販マウスガード材料の衝撃吸収能の比較. 第 65 回日本歯科理工学会 仙台市情報・産業プラザ (宮城, 仙台) 2015.04
宮永裕彰, 安藤貴則, 武田友孝, 中禮宏, 宮澤慶, 渡辺愛斗: 日本スポーツ歯科医学会におけるマウスガード製作の標準化 ワークショップ-WG1: マウスガードの印象・模型製作・デザイン. 第 25 回 日本スポーツ歯科医学会総会・学術大会, 千里ライフサイエンスセンター (大阪, 大阪), 2014.06

Ruman Uddin CHOWDHURY, Hiroshi CHUREI, Hidekazu TAKAHASHI, Takahiro WADA, Motohiro UO, Shintaro FUKASAWA, Keisuke ABE, Sharika SHAHRIN, Toshiaki UENO: Combined analysis of shock absorption capability and disperse force of mouthguard material . 第 25 回 日本スポーツ歯科医学会総会・学術大会, 千里ライフサイエンスセンター (大阪, 大阪), 2014.06 .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中禮 宏 (CHUREI Hiroshi)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教
研究者番号: 50431945

(2) 研究分担者

上野 俊明 (UENO Toshiaki)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・准教授
研究者番号: 30292981