

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K11774

研究課題名(和文)高性能スポーツ・マウスガードへのガラス繊維強化熱可塑性材料の臨床応用

研究課題名(英文)Clinical Application of Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Materials for High Functional Sports Mouthguards

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) 3,500,000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(MG)の高機能化において、ガラス繊維強化型MG材料の使用と緩衝空間の設定により、衝撃伝播が効果的に緩やかなものとなり、衝撃強さによりその効果特性が異なる結果が示された。さらに、臨床的なMGの構造試験より、ガラス繊維強化型MGは衝撃伝播の遅延効果よりも、広範囲への分散効果が高いことが認められ、緩衝空間の設定により、衝撃分散効果の相乗的な更なる向上が認められた。ガラス繊維強化型MGの臨床応用にあたっては想定される衝撃に応じた緩衝空間の広さ設定を検討することが必要で、想定される衝撃に見合った設計デザインを付与することが重要と考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、「ガラス繊維強化材料被覆範囲」や「緩衝空間設定範囲」に関する基本的な考え方が明らかとなったことで、さまざまな道具を使用するスポーツ各々における至適の高機能化の方向性を示せ、応用範囲の拡大も推進できると考えられる。口腔外傷に対する防護装置であるマウスガード(MG)の高機能化は、「ガラス繊維強化材料被覆」や「緩衝空間設定」により、さらに進むことが期待される。

研究成果の概要(英文)：In the highly functionalized mouth guard mouthguard (MG; a protective device against oral trauma), the use of glass-fiber-reinforced MG material and the setting of the buffering space effectively slowed down the impact propagation, which suggested that the effect characteristics differed depending on the impact strength. Furthermore, impact tests of clinical MGs showed that glass-fiber-reinforced MGs were more effective in dispersing a wide area than in delaying impact propagation, and that the setting of the buffering space further improved the synergistic impact dispersion effect. For clinical application of glass fiber reinforced MG, it is necessary to consider the area of the buffering space according to the expected impact, and it is important to provide a design that is appropriate for the expected impact.

研究分野：スポーツ歯科学

キーワード：マウスガード ガラス繊維強化 緩衝空間 口腔外傷予防

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

口腔外傷に対する防護装置であるマウスガード(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るようになってきた。矯正治療を受けながら、競技を行っている児童・生徒も散見され、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。しかし、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、MGの効果を補強する材料や設計の応用が必要とされ、従来方法では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た。すでに、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の強化にも応用可能であることを、またEVA系の材料が好ましいことも確認していた。

ガラス繊維強化型MGは、その衝撃吸収・分散特性に関して、衝撃吸収よりも高い衝撃分散能力を発揮する特性を示す。また、競技によって異なる用具(球やバットなど)におけるMGの衝撃吸収分散応答が異なることも知られている。そのため、設計に関する要件が従来型MGと異にすると考えられるため、臨床応用に向けて、ガラス繊維強化型MG応用時の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、具体的に検討していく必要性があった。

2. 研究の目的

1) MGへのガラス繊維強化材料応用における加衝物と緩衝空間の広さの関係について実験的検討を行った。

2) 4種試作MGの衝撃応答様相を2台の高速度カメラで撮影し、加衝物の違いによる変化特性を分析評価した。

3. 研究の方法

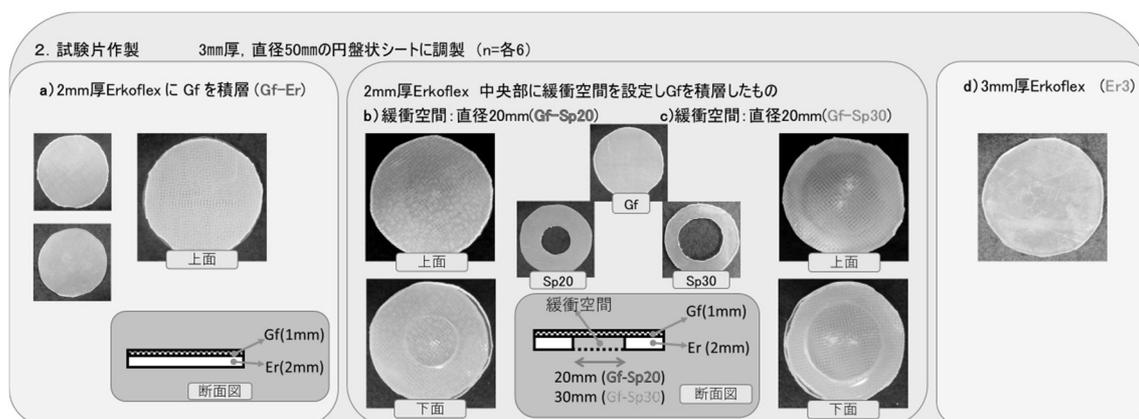
1) 母材の市販MGシート(Erkoflex, Erkodent)に、補強材としてガラスクロス(M100X104H, ユニチカ)を含浸加工し、1mm厚のガラス繊維強化型MGシートを作製した(Gf)。試験片は4種で、いずれも3mm厚、直径50mmの円盤状シートに調製した

a) 2mm厚ErkoflexにGfを積層したもの(Gf-Er)

b) 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-Sp20)

c) 2mm厚Erkoflex中央部に緩衝空間(直径30mm)を設定しGfを積層したもの(Gf-Sp30)

d) 3mm厚Erkoflex (Er3)



衝撃試験は鉄球2種(条件A: 直径20mm, 32.6gf、条件B: 直径30mm, 110.1gf)を同高度(600mm)から自由落下させて行った(n=各6)。試験片なしをコントロールとし、最大荷重(P1)およびP1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)。

2) 市販MGシート(Erkoflex, Erkodent: Er)と、Erにガラスクロス(M100X104H, ユニチカ)を含浸加工した1mm厚ガラス繊維強化型シート(Gf)を組み合わせ、以下の4種ラミネートタイプMGを作製した。

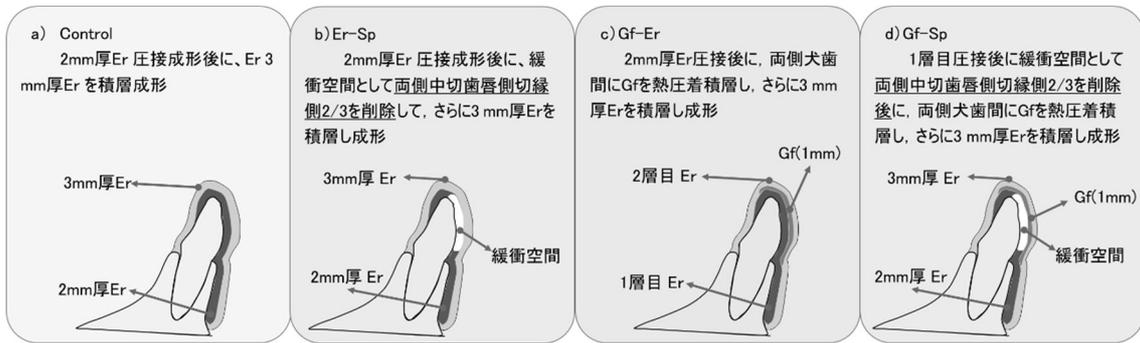
a) 2mm厚Er + 3mm厚Er (Ctrl)

b) 2mm厚Er + 緩衝空間付与(両側中切歯唇面削合) + 3mm厚Er (Er-Sp)

c) 2mm厚Er + 前歯部Gf熱圧着 + 3mm厚Er (Gf-Er)

d) 2mm厚Er + 緩衝空間付与(両側中切歯唇面削合) + 前歯部Gf熱圧着 + 3mm厚Er (Gf-Sp)

いずれも可及的に同じ厚さ・形態となるよう調整した。

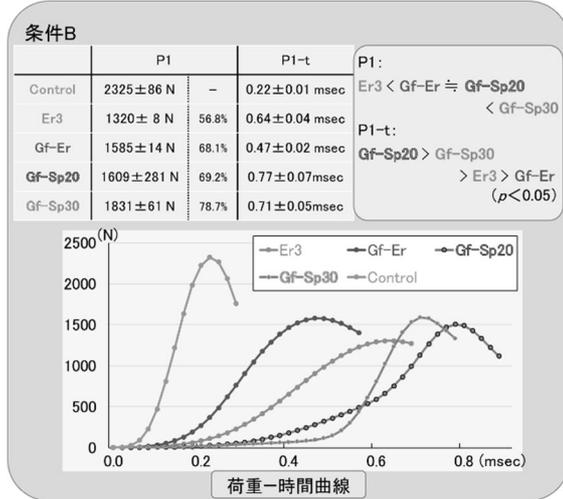
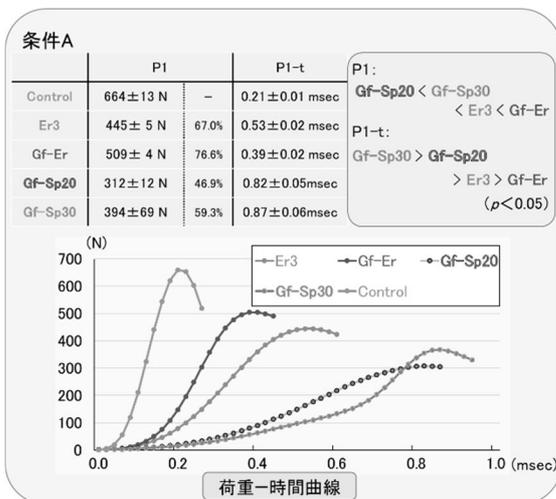


衝撃試験は鉄球(直径 20 mm, 32.6 gf)あるいは硬式野球ボール(NPB 公式球: 直径 232mm, 146 gf)を両側中切歯正中部に 500 mm 上方から自由落下させた。その様子を 2 台の高速度カメラ(5,000 fps)で撮影し、デジタル 3D コリレーションシステムソフトウェア(VIC-3D, レーザ計測)で解析した。

4. 研究成果

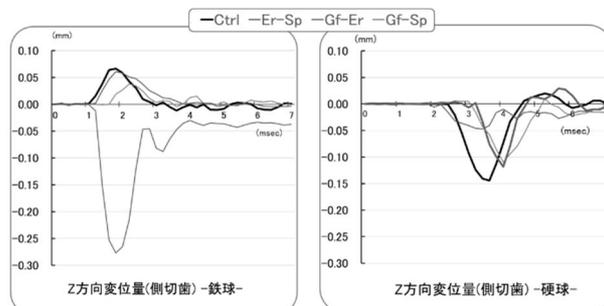
1) 条件 A では P1: コントロール 664N に対し、Gf-Sp20 (312N) < Gf-Sp30 (394N) < Er3 (445N) < Gf-Er (509N) であった ($p < 0.05$)。P1-t: コントロール 0.21msec に対し、Gf-Sp30 (0.87msec) > Gf-Sp20 (0.82 msec) > Er3 (0.53msec) > Gf-Er (0.39 msec) であった ($p < 0.05$)。

条件 B では P1: コントロール 2325N に対し、Er3 (1320N) < Gf-Er (1585N) < Gf-Sp20 (1609N) < Gf-Sp30 (1831N) であった ($p < 0.05$)。P1-t: コントロール 0.22msec に対し、Gf-Sp20 (0.77msec) > Gf-Sp30 (0.71 msec) > Er3 (0.64msec) > Gf-Er (0.47 msec) であった ($p < 0.05$)。



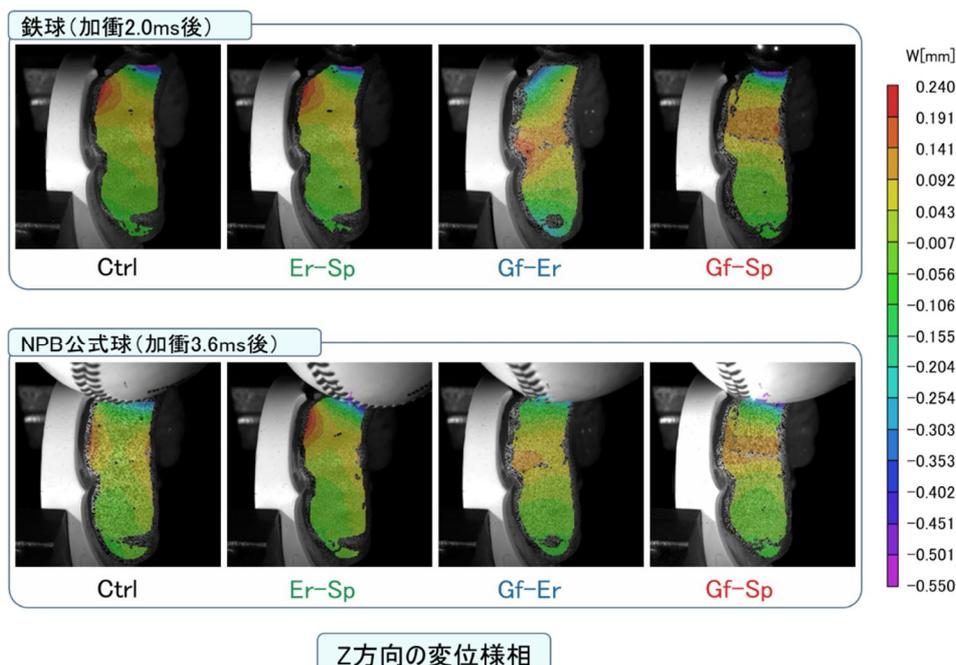
設定した緩衝空間は正中から、Sp20 は両中切歯を超え、Sp30 は両側切歯の遠心程度で、衝撃条件は条件 B が条件 A に対して同速度で 3.5 倍近くの高エネルギーの衝撃であった。

2) 鉄球の場合、Z 方向変位量は Gf-Sp でプラスに、Gf-Er で大きくマイナスに振れ、凹んだことが分かる(左下図)。しかし硬球では、Gf-Er と Gf-Sp で差がなくなり、Ctrl に近い応答相だった(右下図)。



ガラス繊維による強化材料を MG に使用することにより、衝撃伝搬の遅延効果よりも、広範囲への分散効果が認められた。さらに、緩衝空間の設定により、ガラス繊維強化型 MG の衝撃分

散効果の更なる向上が認められた。また、ガラス繊維と緩衝空間の組合せによって MG の衝撃応答様相が変化し、加衝物が変わるとその効果特性も変化することが明らかとなった。



基礎的な構造試験から、MG の高機能化において、ガラス繊維強化型 MG 材料の使用と緩衝空間の設定により、衝撃条件に関わらず、衝撃伝播が効果的に緩やかなものとなることが示唆された。また、衝撃強さによりその効果特性が異なる結果が示された。さらに、より臨床的な MG の構造試験より、ガラス繊維強化型 MG は衝撃伝播の遅延効果よりも、広範囲への分散効果が高いことが認められ、緩衝空間の設定により、衝撃分散効果の相乗的な更なる向上が認められた。

ガラス繊維強化型 MG の臨床応用にあたっては想定される衝撃に応じた緩衝空間の広さ設定を検討することが必要であることが改めて明らかとなり、想定される衝撃に見合った設計デザインを付与することが重要と考えられた。

その検討は、「ガラス繊維強化材料被覆範囲」や「緩衝空間設定範囲」を実際のマウスガードの形態を模した試作マウスガードへの複数の加衝物にて比較することで、それを使用するスポーツ各々における至適の高機能化の方向性を示せ、さらに比較検証もすることで、応用範囲も広げられることを推進できると考えられた。

<引用文献>

中禮 宏ら．高機能マウスガードへのガラス繊維強化材料応用の効果に対する緩衝空間の広さと衝撃特性の影響．スポーツ歯学 22巻2号、2019、107-108

中禮 宏ら．高速度カメラによるガラス繊維強化法を応用したマウスガードの衝撃試験観察．日本歯科理工学会誌 37巻Special Issue72、2018、55

中禮 宏ら．高速度カメラを用いたガラス繊維強化型マウスガードの衝撃応答解析 - 加衝物の違いによる変化特性評価 - ．スポーツ歯学 23巻2号、2020、96

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ruman Uddin Chowdhury, Hiroshi Churei, Gen Tanabe, Yuriko Yoshida, Kairi Hayashi, Hidekazu Takahashi, Takahiro Wada, Motohiro Uo, Takahiro Mizobuchi, Nafees Uddin Chowdhury, Toshiaki Ueno	4. 巻 -
2. 論文標題 Useful design of custom-made mouthguard for athletes undergoing orthodontic treatment with brackets and wires	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Dental Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jds.2021.03.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi CHUREI, Ruman Uddin CHOWDHURY, Yuriko YOSHIDA, Gen TANABE, Shintaro FUKASAWA, Takahiro SHIRAKO, Takahiro WADA, Motohiro UO, Hidekazu TAKAHASHI and Toshiaki UENO	4. 巻 -
2. 論文標題 Use of the fiberglass reinforcement method in thermoplastic mouthguard materials to improve flexural properties for enhancement of functionality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4012/dmj.2020-402 JOI JST.JSTAGE/dmj/2020-402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中禮宏, 和田敬広, 安部圭祐, 山中拓人, 佐々木幸生, 近藤剛史, 渡辺和志, 根来武史, 斎藤整, 磯山永次郎, 永井晃, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明
2. 発表標題 高速度カメラを用いたガラス繊維強化型マウスガードの衝撃応答解析 - 加衝物の違いによる変化特性評価 -
3. 学会等名 第30回日本スポーツ歯科医学会総会・学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中禮宏, 和田敬広, 安部圭祐, 佐々木幸生, 近藤剛史, 武内研二, 三浦弘美, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明
2. 発表標題 高機能マウスガードへのガラス繊維強化材料応用の効果に対する緩衝空間の広さと衝撃特性の影響
3. 学会等名 第29回日本スポーツ歯科医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中禮宏、田邊元、和田敬広、金城里於、吉田結梨子、林海里、宇尾基弘、高橋英和、上野俊明
2. 発表標題 高速度カメラによるガラス繊維強化法を応用したマウスガードの衝撃試験観察
3. 学会等名 第72回日本歯科理工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 4.中禮 宏, 吉田結梨子, 田邊 元, 和田敬広, 深沢慎太郎, 白子高大, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明
2. 発表標題 マウスガードの高機能化におけるガラス繊維強化法と緩衝空間の効果
3. 学会等名 日本歯科理工学会 平成29年度秋期第70回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 11.中禮宏, 和田敬弘, 深沢慎太郎, 白子高大, 安部圭祐, 藤野祥子, 竹内研二, 矢野顕, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明
2. 発表標題 マウスガードの高機能化に向けたガラス繊維強化材料の応用と緩衝空間の設定効果
3. 学会等名 第28回日本スポーツ歯科医学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	上野 俊明 (UENO Toshiaki) (30292981)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・准教授 (12602)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------