

報 告

2024年度 日本スポーツ歯科医学会が提唱する標準的で適切に製作された マウスガードのコンセンサス

ワーキンググループ2：成形（模型からの撤去・トリミング・研磨まで）・
3Dプリンターによる製作法を含むー

松村 英尚^{1,2)} 神野 洋平¹⁾ 大木 郷資^{2,3)}
河崎 雅弘^{2,3)} 飯盛 隆司⁴⁾ 田中 佑人⁵⁾

Standardized, Properly-made Mouthguards Based on the Consensus Statements
Formed by the Japanese Academy of Sports Dentistry in 2024,
Working Group 2 : Thermoforming Procedures, Sheet Material, Removal from the Dental Cast,
Trimming, Polishing and Fabrication Methods utilizing 3D Printing Technology

Hidehisa MATSUMURA^{1,2)}, Yohei JINNO¹⁾, Kyosuke OKI^{2,3)},
Masahiro KAWASAKI^{2,3)}, Takashi IIMORI⁴⁾ and Yuto TANAKA⁵⁾

Abstract : In this working group, the thermoforming procedures, sheet material, removal from the dental cast, trimming, polishing and fabrication methods utilizing 3D printing technology were discussed.

Key words : thermoforming procedure (成形), sheet material (シート材料), removal from the dental cast (模型からの撤去), trimming (トリミング), polishing (研磨), fabrication methods utilizing 3D printing technology (3Dプリンターを用いたマウスガード製作)

ワーキンググループ2：成形（模型からの撤去・トリミング・研磨まで）・3Dプリンターによる製作法を含む Clinical Question (CQ)

- CQ ①：推奨されるシートの材質とその物理学的性質は？
- CQ ②：推奨される成型方法は？
- CQ ③：推奨されるシートの適正加熱温度は？
- CQ ④：推奨される作業用模型の位置付けは？
- CQ ⑤：推奨される分離材は？
- CQ ⑥：推奨される冷却時間は？（いつ撤去すべきか）

- CQ ⑦：推奨される調整・研磨の方法について
- CQ ⑧：デジタルワークフローによるマウスガード製作

- A ①：推奨されるシートの材質とその物理学的性質は？**
- ・EVA, ポリオレフィンの信頼性は高い。
- 〈参考文献〉
- ・Lloyd, J. D., Nakamura, W. S., Maeda, Y., et al. : Mouthguards and their use in sports : Report of the 1st International Sports Dentistry Workshop, 2016, Dent. Traumatol., 33 : 421-426, 2017.

¹⁾ 九州大学大学院歯学研究院口腔機能修復学講座インプラント・義歯補綴学分野

²⁾ スポーツ歯科 FUKUOKA

³⁾ 九州大学大学院歯学研究院口腔機能修復学講座クラウンブリッジ補綴学分野

⁴⁾ 一般社団法人かながわスポーツ・健康づくり歯学協議会

⁵⁾ 大阪歯科大学附属病院特別支援歯科

¹⁾ Section of Implant and Rehabilitative Dentistry, Division of Oral Rehabilitation, Faculty of Dental Science, Kyushu University

²⁾ Sports Dentistry FUKUOKA

³⁾ Section of Fixed Prosthodontics, Division of Oral Rehabilitation, Faculty of Dental Science, Kyushu University

⁴⁾ Dental Conference of Sports and Health Promotion Kanagawa

⁵⁾ Department of Special Care Dentistry, Osaka Dental University Hospital

[2025年5月26日受付]

表 1 代表的なシート材料のショア硬度 (メーカー公表値あるいはメーカー実測値)

EVA 材料	
エルコフレックス (エルコデント)	82
エルコフレックス95 (エルコデント)	95
ドゥルフォソフト (ドレーブ)	82
ドゥルフォソフトプロ (ドレーブ)	95
マウスガード (山八歯材工業)	約80
マウスガードハード (山八歯材工業)	約90
マウスガード材 EVA (大栄歯科産業)	82
バイオプラスト (シヨイデンタル)	85
キャプチャーシート (松風)*	82 (4 mm 厚) 86 (2 mm 厚)
ポリオレフィン材料	
MG21ソフト (CGK)	68
MG21レギュラー (CGK)	75
MG21ハード (CGK)	84
マウスガード材 PO レギュラー (大栄歯科産業)	77
マウスガード材 PO ハード (大栄歯科産業)	86
キャプチャーシート PRO (松風)*	73 (4 mm 厚) 74 (2 mm 厚)
ポリスチレン・ポリオレフィン共重合体材料	
インパクトガード (GC)	73

*メーカー実測値

- ・市販されている EVA, ポリオレフィンなどのマウスガード材料は, いずれも高い衝撃吸収性能を有する。

〈参考文献〉

- ・Yokota, K., Churei, H., Takahashi, H., et al. : Preliminary study for developing a new mouthguard material, Ann. Japan Prostho. Soc., 2 : 151-156, 2010.
- ・Reza, F., Churei, H., Takahashi, H., et al. : Flexural impact force absorption of mouthguard materials using film sensor system, Dent. Traumatol., 30 : 193-197, 2014.
- ・Fukasawa, S., Churei, H., Chowdhury, R. U., et al. : Difference among shock-absorbing capabilities of mouthguard materials, Dent. Traumatol., 32 : 474-479, 2016.
- ・3D プリンターを用いて製作したマウスガードの衝撃吸収率も市販材料と同レベル。
- 〈参考文献〉
- ・Tun, P. S., Churei, H., Hikita, K., et al. : Fabrication of shock absorbing photopolymer composite material for 3D printing sports mouthguard, J. Photopolym. Sci. Technol., 33 : 615-622, 2020.
- ・シングルレイヤー以外の各種マウスガードの衝撃吸収性能については, 軟性材料のマルチレイヤー成型, 軟性材料と硬性材料の組み合わせによるマルチレイヤー

成型, エアスペースあるいはナイロンメッシュの設置等により, マウスガードの衝撃吸収性能を向上させることができる。

[成型方法として]

- ・ラミネートタイプマウスガード (軟性材料の複層成型)
- ・ハード&スペースタイプマウスガード (軟性・硬性材料の組み合わせとスペース確保)
- ・MG Professional 3D (シリコン製インサートを挟んで軟性材料でラミネート) など
- [特殊シート材料として]
- ・デントクラフトJガード (ポリオレフィン・EVA の2種3層構造特殊シート)
- ・プレイセーフトリプル (軟性材料 EVA・硬性材料 COC の3層構造特殊シート) など

〈参考文献〉

- ・Takeda, T., Ishigami, K., Handa, J., et al. : Does hard insertion and space improve shock absorption ability of mouthguard, Dent. Traumatol., 22 : 77-82, 2006.
- ・Bochnig, M. S., Oh, M. J., Nagel, T., et al. : Comparison of the shock absorption capacities of different mouthguards, Dent. Traumatol., 33 : 205-213, 2017.
- ・Matsuda, Y., Nakajima, K., Saitou, M., et al. : The effect of light-cured resin with a glass fiber net as an intermediate material for Hard & Space mouthguard, Dent. Traumatol., 36 : 654-661, 2020.

- Sakaue, T., Togo, S., Tsutsui, A., et al. : Improving light-cured intermediate resin for hard and space mouthguard using a glass fiber, *Dent. Traumatol.*, 39 : 119-131, 2023.
- Suzuki, H., Motoyoshi, M., Nakayama, T., et al. : Development of a new mouthguard sheet material comprising two different five-layered structures, *Int. J. Sports Dent.*, 16 : 7-13, 2023.
- Motoyoshi, M., Suzuki, H., Churei, H., et al. : Shock absorption and dispersion capability of a novel five-layer mouthguard, *Dent. Mater. J.*, 43 : 367-374, 2024.

A ② : 推奨される成型方法は？

- 従来型の成型方法には以下のものがある。

吸引成型

改良吸引成型

吸引+加圧成型

加圧成型

※吸引成型では吸引時間により厚さが変化する。90秒以内の吸引時間が適当。

〈参考文献〉

- Mizuhashi, F., Koide, K. and Takahashi, M. : Mouthguard thickness varies with vacuum application time in the vacuum-forming method, *Int. J. Sports Dent.*, 8 : 37-44, 2015.

※成型方法によってマウスガードの前歯部の厚みに違いが出る（臼歯部の厚みには差は出ない）。

〈参考文献〉

- Mizuhashi, F., Koide, K. and Takahashi, M. : Variations in mouthguard thickness according to fabrication method, *Dent. Traumatol.*, 31 : 130-135, 2015.

- 加圧成型, 吸引+加圧成型, 改良吸引成型で製作したマウスガードは, 吸引成型で製作したものよりも適合性に優れる。

〈参考文献〉

- Mizuhashi, F. and Koide, K. : Formation of vacuum-formed and pressure-formed mouthguards, *Dent. Traumatol.*, 33 : 295-299, 2017.
- Mizuhashi, F., Koide, K. and Watarai, Y. : Fabrication of vacuum-formed and pressure-formed mouthguards using polyolefin sheet, *Int. J. Burns. Trauma.*, 10 : 345-351, 2020.

A ③ : 推奨されるシートの適正加熱温度は？

- EVA は成型時の適正加熱温度は 80~120℃。シートサグ（垂れ下がり）の目安は 10~20 mm（4 mm シート）。

〈参考文献〉

- Maeda, Y., Yasui, T. and Yonehata, Y. : Fabricating

manual of mouthguard-invitation for sports dentistry, Quintessence Inc, Tokyo, 2001.

- Yamada, J. and Maeda, Y. : Thermoforming process for fabricating oral appliances : influence of heating and pressure application timing on formability, *J. Prosthodont.*, 16 : 452-456, 2007.

- ポリオレフィン系は, 成型方法や材質により適正加熱温度が異なる可能性がある。

※ポリオレフィンの最適加熱温度は, 吸引成型では 105℃, 加圧成型では 90℃が目安。

〈参考文献〉

- Mizuhashi, F. and Koide, K. : Appropriate fabrication method for vacuum-formed mouthguards using polyolefin sheets, *Dent. Traumatol.*, 36 : 433-437, 2020.
- Watarai, Y., Mizuhashi, F. and Koide, K. : Appropriate fabrication method for pressure-formed mouthguards using polyolefin sheets, *Dent. Traumatol.*, 38 : 149-155, 2022.

※吸引+加圧成型においては, ポリオレフィンシート（4 mm）の加熱時シートサグは 15 mm が目安。

〈参考文献〉

- Takahashi, M. and Koide, K. : Optimal heating condition of mouthguard sheet in vacuum-pressure formation : part 2 Olefin-based thermoplastic elastomer, *Dent. Traumatol.*, 32 : 90-94, 2016.

- 成型時の温度計測については, シートの適正加熱温度は非加熱面で計測すべきである。

〈参考文献〉

- Mizuhashi, R., Ogura, I., Sugawara, Y., et al. : Forming temperature of ethylene vinyl acetate sheets for fabrication of vacuum-formed mouthguards, *Dent. Traumatol.*, 36 : 538-542, 2020.

- マウスガードの成型後の厚みに関しては, 同じ温度で吸引成型を行うと, EVA のほうがポリオレフィンよりも厚みを確保できる。EVA, ポリオレフィン, いずれも 85~105℃の間では仕上がりの厚みに違いは出ない。

〈参考文献〉

- Mizuhashi, F. and Koide, K. : Mouthguard sheet temperature after heating. *Dent. Traumatol.*, 34 : 365-369, 2018.

- Mizuhashi, F., Watarai, Y. and Suzuki, T. : Difference in thickness of vacuum-formed mouthguards using ethylene vinyl acetate and polyolefin sheets, *Dent. Traumatol.*, 39 : 200-205, 2023.

- ・マウスガードのラミネート加工時の注意点として、シートを重ね合わせる場合には、EVAでは120℃、ポリオレフィンでは110℃まで加熱する。

〈参考文献〉

- ・Tanabe, G., Churei, H., Wada, T., et al. : The influence of temperature on sheet lamination process when fabricating mouthguard on dental thermoforming machine, J. Oral Sci., 62 : 23-27, 2020.

A④：推奨される作業用模型の位置付けは？

- ・作業用模型の位置付けは、マウスガードの厚みの最適化のために重要で、以下の点に配慮して、作業用模型を位置付けることが望ましい。

1. 作業用模型の前歯部の傾斜角度
2. 成型器のモデルプレート上での作業用模型の位置

※模型を傾斜させて成型を行うとマウスガード前歯部の厚みが減少しにくい。

〈参考文献〉

- ・Farrington, T., Coward, T., Onambele-Pearson, G., et al. : The effect of model inclination during fabrication on mouthguard calliper-measured and CT scan-assessed thickness, Dent. Traumatol., 32 : 192-200, 2016.
- ・Takahashi, M. and Bando, Y. Prioritizing model trimming to prevent thinning during mouthguard thermoforming : Influence of increased height associated with an acute model angle, Dent. Traumatol., 39 : 11-18, 2023.

※成型器のモデルプレートの端に近いほど、シートの厚みが減少する。

〈参考文献〉

- ・Takahashi, M., Araie, Y., Satoh, Y., et al. : Shape change in mouthguard sheets during thermoforming—Part 2 : Effect of the anteroposterior position of the model on mouthguard thickness, Dent. Traumatol., 33 : 114-120, 2017.

※作業用模型の中心を成型器のモデルプレートの中心から15 mm 後方に配置すると、マウスガードの前歯部の厚みを確保しやすい。

〈参考文献〉

- ・Mizuhashi, F., Koide, K. and Mizuhashi, R. : Influence of working model position on the formation of a pressure-formed mouthguard, Dent. Traumatol., 32 : 469-473, 2016.

A⑤：推奨される分離材は？

- ・分離材に関して、新たなエビデンスは得られていない。
- ・アルギン酸ナトリウム系の分離材が望ましい。

- ・ワックス系の分離材は、通気性を阻害する。
 - ・分離材の過度の塗布はマウスガードの適合性を下げる。
- 〈参考文献〉

- ・山田純子, 岡本守人, 前田芳信, ほか : マウスガード製作過程における作業模型表面処理の影響, スポーツ歯誌, 5 : 37-40, 2002.

※代表的な分離材

ニューアクロセップ (ジーシー)

アットバーニッシュ (松風)

*イソラック (エルコデント) は販売終了

A⑥：推奨される冷却時間は？ (いつ撤去すべきか)

新たなエビデンスは得られていない。

注) 適切な冷却時間は、使用する材料や成型方法によって異なる可能性がある。

- ・十分な冷却が必要：シート材が約40℃～室温になるまで十分に放冷する。

〈参考文献〉

- ・西田純子, 前田芳信, 町 博之, ほか : シート成形法によるマウスガード製作方法についての考察, スポーツ歯誌, 9 : 25-28, 2006.

- ・急冷しないこと。

〈参考文献〉

- ・町 博之, 前田芳信, 津川 剛, ほか : マウスガード成形時の冷却方法が経時変化に及ぼす影響, スポーツ歯誌, 9 : 29-32, 2006.

※成型後の模型からのシート撤去に関するポイント

*マウスガードの形状を維持し、適合性を確保するためには、撤去時にシートに応力が生じないように注意深く行うことが重要。無理に取り外すと、マウスガードに変形が生じる可能性がある。

*撤去の手順としては、ハサミでシートに切れ込みを入れるなどして、撤去時の応力を軽減し、臼歯部の内側から外しはじめ、その後前歯部分を外す。

A⑦：推奨される調整・研磨の方法について

- ・代表的な調整・研磨材料の例

1. トリミング：テクニカルハサミ, HSSドリルなどのカーバイドバー
 2. 形態修正：キャプチャーカーバーなどのカーバイドバー
 3. 研磨：リスコ, マウスガードホイールなどの海綿状ホイール
 4. 艶出し：マウスガードフィニッシャー, フィニッシングリキッド
 5. 補助的な艶出し：ホットエアバーナー+FGシート
- 注) いずれも必要以上に熱を発生させないことがポイントである。

※ポリオレフィン系材料については、市販の海綿状ホイールの明確な研磨効果を認めた。また、海綿状ホイール研磨後の艶出し処理においては、艶出し剤よりも熱処理でさらなる表面粗さの改善がみられた。

〈参考文献〉

- ・中禮 宏, 黒川勝英, 高橋敏幸, ほか: ポリオレフィン系マウスガード材に対する海綿状ホイール研磨と艶出し剤の効果, スポーツ歯誌, 24: 7-11, 2020.

※EVA 材料については、研磨システムにホットエアバーナーを併用することにより効率的にマウスガード表面の粗さを改善できた。

〈参考文献〉

- ・Almeida, M. H., Ceschim, G. V., Iorio, N. L. P. P., et al.: Influence of thickness, color, and polishing process of ethylene-vinyl-acetate sheets on surface roughness and microorganism adhesion, Dent. Traumatol., 34: 51-57, 2018.

A ⑧: デジタルワークフローによるマウスガード製作

・なぜデジタル化なのか?—効率化できる点

1. 石膏の硬化・乾燥やシート冷却の待機などの製作時間を短縮できる。
2. 設計の自由度が高く、必要な部分に厚みや複雑な構造を付与できる。
3. データの保存により、複数個製作あるいは再製作が容易にできる。
4. データの共有により、時間・場所を選ばずに製作できる。
5. 材料の無駄が少ない。

・現状でのデジタル化の問題点

1. どの作業プロセスをデジタル化するかを判断する情報が十分でない。
2. 高価な設備が必要である。
3. 口腔内スキャンの範囲に限界がある (特に歯肉や口腔前庭部)。
4. 機器そのものの解像度など、口腔内スキャンの精度が十分でない。

5. 承認待ちの材料も多く、材料の色や硬さなどの選択肢が少ない。

6. 製作されたマウスガードの適合性や耐久性の検証が十分でない。

7. 機器を操作できる者が限られる。

・デジタルワークフローによるマウスガード製作のステップ

1. 印象採得

1) 口腔内スキャン

2) 通法アルジネート印象～模型製作～模型スキャン

2. 咬合採得

1) 咬合した状態をスキャン～バーチャル咬合器上で挙上

2) バイト材を咬合した状態をスキャン

3. 成型方法

1) 積層造形 - 材料噴射 Material Jetting (アクリル系弾性体, ラバー様材料など)

2) 積層造形 - 材料押出 Material Extrusion (熱可塑性共重合体など)

3) 積層造形 - 液槽光重合 VAT Photopolymerization (キーストン Keyguard など)

4) 切削造形 - ミリング Milling (PEEK, PMMA など硬性材料)

注) 実際の製作においては、デジタル機器の特性を考慮して、これらの方法・材料いずれかの組み合わせとなる。

※ 2016年にデジタルワークフローによるマウスガード製作が報告されて以降のデジタル化の流れについては、以下のレビュー論文を参考にするとよい。

〈参考文献〉

- ・Tanabe, G., Ueno, T., Li, C., et al.: Literature review on the advances and applications of digital dentistry in sports mouthguard fabrication, Int. J. Sports Dent., 16: 15-24, 2023.

[学会 HP に PDF を掲載予定]