

第2回 マウスガード製作に関する ガイドライン作成のワークショップ

Group2

成形（模型からの撤去、トリミング、研磨までを含む）
3Dプリンターによる製作法を含む

メンバー 松村英尚（九州大学）
神野洋平（九州大学）
大木郷資（九州大学）
河崎雅弘（九州大学）
飯盛隆司（かながわスポーツ・健康づくり歯学協議会）
田中佑人（大阪歯科大学）

今回のCQ案

- CQ1 推奨されるシートの材質とその物理学的性質は？
- CQ2 推奨される成型方法は？
- CQ3 推奨されるシートの適正加熱温度は？
- CQ4 推奨される作業用模型の位置付けは？
- CQ5 推奨される分離材は？
- CQ6 推奨される冷却時間は？（いつ撤去すべきか）
- CQ7 推奨される調整・研磨の方法について
- CQ8 デジタルワークフローによるマウスガード製作

CQ 1

推奨されるシートの材質と
その物理学的性質は？

推奨されるシートの材質と物理学的性質①

EVA、ポリオレフィンの信頼性は高い

2016年に開催された第1回 International Sports Dentistry Workshopで理想とされたマウスガードの物理学的性質¹⁾

1) Lloyd JD, Nakamura WS, Maeda Y, Takeda T, Leesungbok R, Lazarchik D, et al. Mouthguards and their use in sports: report of the 1st international sports dentistry workshop, 2016. Dent Traumatol. 2017;33:421-426.

推奨されるマウスガードの物理学的性質	
物理学的性質	理想値
ショア硬度	80-95 (37°C)
吸水率	0.5 重量%未満 (37°C)
引っ張り強さ	200Ncm以上 (37°C)

* カスタムメイドマウスガードに関して推奨される物理学的性質を抜粋
データは同Workshopで検索された以下の文献より抽出されたもの：
Craig RG, Godwin WC. Properties of athletic mouth protectors and materials. J Oral Rehabil. 2002;29:146-150.

推奨されるシートの材質と物理学的性質②

市販されているEVA、ポリオレフィン等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

市販品マウスガード・シート材の衝撃吸収率について
Yokotaら²⁾は38%、Rezaら³⁾は24~37%、Fukasawaら⁴⁾は26~38%と報告

2) Yokota K, Churei H, Takahashi H, Ueno T.

Preliminary study for developing a new mouthguard material. *Ann Japan Prosth Soc* 2010; **2**: 151-156.

3) Reza F, Churei H, Takahashi H, Iwasaki N, Ueno T.

Flexural impact force absorption of mouthguard materials using film sensor system. *Dent Traumatol.* 2014; **30**(3):193-197.

4) Fukasawa S, Churei H, Chowdhury RU, Shirako T, Shahrin S, Shrestha A, et al.

Difference among shock-absorbing capabilities of mouthguard materials. *Dent Traumatol.* 2016;**32**:474-479.

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⁵⁾も上記市販品と同レベル

5) Tun P.S., Churei H., Hikita K., Kamijo S., Oki M., Tanabe G., Hayashi K., Aung T.K., Win A., Hlaing S., et al.

Fabrication of Shock Absorbing Photopolymer Composite Material for 3D Printing Sports Mouthguard. *J. Photopolym. Sci. Technol.* 2020;**33**:615-622.

代表的なマウスガード材料の硬さ（ショア硬度）

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（大榮歯科産業）	82
バイオプラスト（ショイデンタル）	85
キャプチャーシート（松風）	82（4mm） 86（2mm） *メーカー実測値

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（大榮歯科産業）	77
マウスガード材PO ハード（大榮歯科産業）	86
キャプチャーシートPRO（松風）	73（4mm） 74（2mm） *メーカー実測値

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
--------------	----

シングルレイヤー以外のマウスガードの衝撃吸収性能

各種マウスガードの衝撃吸収性能

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^{6)~11)}

6) Takeda T, Ishigami K, Handa J, Naito K, et al.

Does hard insertion and space improve shock absorption ability of mouthguard? Dent Traumatol. 2006;22:77-82

7) Bochnig MS, Oh M-J, Nagel T, Ziegler F, Jost-Brinkmann P-G.

Comparison of the shock absorption capacities of different mouthguards. Dent Traumatol. 2017;33:205-213

8) Matsuda Y, Nakajima K, Saitou M, Katano K, Kanemitsu A, Takeda T, Fukuda K

The effect of light-cured resin with a glass fiber net as an intermediate material for Hard & Space mouthguard . Dent Traumatol. 2020;36:654-661

9) Sakaue T, Togo S, Tsutsui A, Matsuda Y, Nakajima K, Takeda T, et al.

Improving light-cured intermediate resin for hard and space mouthguard using a glass fiber. Dent Traumatol. 2023;39:119-131

10) Suzuki H, Motoyoshi M, Nakayama T, Yagi T, Sanjo S, et al.

Development of a New Mouthguard Sheet Material Comprising Two Different Five-Layered Structures. Int J Sports Dent. 2023;16:7-13

11) Motoyoshi M, Suzuki H, Churei H, Nakayama T, Yagi T, et al.

Shock absorption and dispersion capability of a novel five-layer mouthguard. Dent Mater J. 2024;43:367-374

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プロフェッショナル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）

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層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

CQ 2

推奨される成型方法は？

マウスガードの成型方法

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

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

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¹²⁾

12) Mizuhashi F, Koide K, Takahashi M.

Mouthguard Thickness Varies with Vacuum Application Time in the Vacuum-forming Method. Int J Sports Dent. 2015;8:37-44.

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）¹³⁾

13) Mizuhashi F, Koide K, Takahashi M.

Variations in mouthguard thickness according to fabrication method. Dent Traumatol. 2015;31:130-135.

加圧成型は吸引成型よりも適合に優れる^{14),15)}

14) Mizuhashi F, Koide K.

Formation of vacuum-formed and pressure-formed mouthguards. Dent Traumatol. 2017;33:295-299.

15) Mizuhashi F, Koide K, Watarai Y.

Fabrication of vacuum-formed and pressure-formed mouthguards using polyolefin sheet. Int J Burns Trauma. 2020;10:345-351

CQ 3

推奨されるシートの
適正加熱温度は？

マウスガードの適正加熱温度①

EVAは成型時の適正加熱温度は80～120°C¹⁶⁾

シートサグ（垂れ下がり）の目安は10～20mm（4mmシート）¹⁷⁾

16) Yamada J, Maeda Y.

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

17) Maeda Y, Yasui T, Yonehata Y.

Fabricating manual of mouthguard-invitation for sports dentistry. 1st ed. Tokyo: Quintessence Inc; 2001.

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°C¹⁸⁾、加圧成型では90°C¹⁹⁾が目安

18) Mizuhashi F, Koide K.

Appropriate fabrication method for vacuum-formed mouthguards using polyolefin sheets. Dent Traumatol. 2020;36:433-437.

19) Watarai Y, Mizuhashi F, Koide K.

Appropriate fabrication method for pressure-formed mouthguards using polyolefin sheets. Dent Traumatol. 2022;38:149-155.

吸引 + 加圧成型においては

ポリオレフィンシート（4mm）の加熱時シートサグは15mmが目安²⁰⁾

20) Takahashi M, Koide K.

Optimal heating condition of mouthguard sheet in vacuum-pressure formation: part 2 Olefin-based thermoplastic elastomer. Dent Traumatol. 2016;32:90-94.

マウスガードの適正加熱温度②

成型時の適正加熱温度に関するその他留意事項

- ・成型時の温度計測について

成型時のシートの適正加熱温度は非加熱面で計測すべきである²¹⁾

21) Mizuhashi R, Ogura I, Sugawara Y, Oohashi M, Sekiguchi H, Saegusa H, et al.

Forming temperature of ethylene vinyl acetate sheets for fabrication of vacuum-formed mouthguards. Dent Traumatol. 2020;36:538-542.

- ・マウスガードの成型後の厚みに関して

同じ温度で吸引成型を行うと、EVAの方がポリオレフィンよりも厚みを確保できる^{22),23)}
EVA、ポリオレフィン、いずれも85°C~105°Cの間では仕上がりの厚みに違いは出ない²³⁾

22) Mizuhashi F, Koide K.

Mouthguard sheet temperature after heating. Dent Traumatol. 2018;34:365-369.

23) Mizuhashi F, Watarai Y, Suzuki T.

Difference in thickness of vacuum-formed mouthguards using ethylene vinyl acetate and polyolefin sheets. Dent Traumatol. 2023;39:200-205.

- ・マウスガードのラミネート加工時の注意点

シートを重ね合わせる場合には、EVAでは120°C、ポリオレフィンでは110°Cまで加熱²⁴⁾

24) Tanabe G, Churei H, Wada T, Takahashi H, Uo M, Ueno T.

The influence of temperature on sheet lamination process when fabricating mouthguard on dental thermoforming machine. J Oral Sci. 2020;62:23-27.

CQ 4

推奨される作業用模型の
位置付けは？

成型時の作業用模型の位置付け

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
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^{25),26)}

25) Farrington T, Coward T, Onambele-Pearson G, Taylor RL, Earl P, Winwood K.
The effect of model inclination during fabrication on mouthguard calliper-measured and CT scan-assessed thickness. Dent Traumatol. 2016;32:192-200.

26) Takahashi M, Bando Y.
Prioritizing model trimming to prevent thinning during mouthguard thermoforming: Influence of increased height associated with an acute model angle. Dent Traumatol. 2023;39:11-18.

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²⁷⁾

27) Takahashi M, Araie Y, Satoh Y, Iwasaki S.
Shape change in mouthguard sheets during thermoforming - part 2: effect of the anteroposterior position of the model on mouthguard thickness. Dent Traumatol. 2017;33:114-120.

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15mm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²⁸⁾

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

CQ 5

推奨される分離材は？

推奨される分離材

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²⁹⁾

ワックス系の分離材は、通気性を阻害する²⁹⁾

分離材の過度の塗布はマウスガードの適合性を下げる²⁹⁾

29) 山田純子, 岡本守人, 前田芳信, 堀坂充広, 米畑有理, 町 博之.

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. スポーツ歯学 2002;5:37-40

代表的な分離材

ニューアクロセップ (GC)

アットバーニッシュ (松風)

* イソラック (エルコデント) は販売中止

分離材なしで成型すると、模型を外す際に石膏面焼き付けにより引張力が加わり変形する
特に柔らかめのポリオレフィン系シートの場合は変形は大きくなる

* 咬合面や歯頸部に空気を通す孔を開けることで成型精度を向上させる方法もある

飯盛隆司

徹底解説！マウスガード製作のキーポイント
第4回マウスガード製作工程におけるポイント
月刊歯科技工2020;48:808-822.



CQ 6

推奨される冷却時間は？
(いつ撤去すべきか)

推奨される冷却時間と撤去方法

新たなエビデンスは得られていない

成型後の冷却に関するポイント

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°C～室温になるまで十分に放冷する³⁰⁾

30) 西田純子, 前田芳信, 町 博之, 木下可子.

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. スポーツ歯学 2006;9:25-28.

* 急冷しないこと³¹⁾

31) 町 博之, 前田芳信, 津川 剛, 三浦治郎, 高橋良平

マウスガード成形時の冷却方法が経時的変化に及ぼす影響. スポーツ歯学 2006;9:29-32.

成型後の模型からのシート撤去に関するポイント

* 慎重な取り扱い:

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:

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
臼歯部の内側から外し始め、その後前歯部分を外す

CQ7

推奨される調整・研磨の
方法について

推奨される調整・研磨の方法

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ドリル等のカーバイドバー
- ②形態修正 キャプチャーカーバー等のカーバイドバー
- 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艶出し剤 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補助的な艶出し法 ホットエアバーナー+FGシート

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³²⁾
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更なる表面粗さの改善がみられた³²⁾

32) 中禮 宏, 黒川 勝英, 高橋 敏幸, 田邊 元, 吉田 結梨子, 林 海里, 上野 俊明
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. *スポーツ歯学* 2020;24:7-11.

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³³⁾

33) Almeida MH, Ceschim GV, Iorio NLPP, Póvoa HCC, Cajazeira MRR, Guimarães GS, et al.
Influence of thickness, color, and polishing process of ethylene-vinyl-acetate sheets on surface roughness and microorganism adhesion. *Dent Traumatol.* 2018;34:51-57.

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！

CQ 8

デジタルワークフロー
によるマウスガード製作

デジタルワークフローによるマウスガード製作①

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 など

現状でのデジタル化の問題点

- ①どこからどこまで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口腔内スキャンの精度が十分でない（機器そのものの解像度）
- ⑤材料の色や硬さなどの選択肢が少ない（承認待ちの材料も多い）
- 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 など

デジタルワークフローによるマウスガード製作②

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

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³⁴⁾を参考にするとよい

34) Tanabe G, Ueno T, Li C, Manka-Malara K, et al.

Literature Review on the Advances and Applications of Digital Dentistry in Sports Mouthguard Fabrication. Int J Sports Dent. 2023;16:15-24.

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) バイト材を噛ませた状態をスキャン

③成型方法

- 1) 積層造形AM - 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AM - 材料押出 Material Extrusion (熱可塑性共重合体など)
- 3) 積層造形AM - 液槽光重合 VAT Photopolymerization (キーストンKeyguardなど)
- 4) 切削造形SM - ミリング Milling (PEEK、PMMAなど硬性材料)

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