

A Supplement to
Compendium
of Continuing Education in Dentistry®

**THE FUTURE
OF ATHLETIC
PERFORMANCE**

+ Performance-Enhancing
Mouthwear™

+ Performance
Enhancement and
Oral Appliances

+ The Effects of
Mouthpiece Use

+ Reaction Time and
Mouthpiece Use

+ The Role of Intraoral
Protective Appliances

A Supplement to Compendium of Continuing Education in Dentistry®

PUBLISHER
AEGIS Publications, LLC

EDITOR
Catherine Paulhamus

PRODUCTION/DESIGN
Alena Jarnik
Claire Novo

Compendium of Continuing Education in Dentistry® and The Future of Athletic Performance は AEGIS Publications, LLC によって刊行されたものである。

全ての著作権は AEGIS Publications, LLC に属し、いかなる理由があろうとも、出版社からの事前の文書による許可なく、一切の複製、情報検索システムへの登録、またはあらゆるかたちでの送信を禁じる。

複製許可方針:

この刊行物は Copyright Clearance Center (CCC), Inc. (住所 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923.) に登録されている。複製許可は CCC に直接支払いをしている場合は特定の記事に限り認められる。

この刊行物の記事で述べられている見識や見解は、著者自身のものであり、必ずしも編集者、編集委員、出版社の見識や見解が反映されているわけではない。方針として、編集者、編集委員、出版社、大学関係は、いかなる製品、医療技術、診断も支持せず、またこの出版物への掲載が保証と解釈されるべきではない。

警告:

the Compendium of Continuing Education in Dentistry® の記事を読み、必ずしも新しい技術や治療を取り入れる必要は無い。AEGIS 出版は読者の臨床知識と経験による判断を求め、新しい治療を行う場合、必要であればさらなる学習を推奨する。

Originally published in: Compendium.

Copyright © 2009 to AEGIS Communications. All rights reserved. Reprinted with permission from the publisher.



Approval does not imply acceptance by a state or provisional board of dentistry or AGD endorsement.

President/CEO

Daniel W. Perkins ■ 215-504-1275, ext. 201

Managing Partner

Anthony A. Angelini ■ 215-504-1275, ext. 202

Vice President of Operations

Karen Auiler ■ 215-504-1275, ext. 204

AEGIS Publications, LLC
104 Pheasant Run, Suite 105
Newtown, PA 18940



The Future of Athletic Performance

Introduction

3

パフォーマンス・マウスウェアと頭蓋顔面神経代謝生理学

Performance-Enhancing Mouth Wear and Craniofacial Neurometabolic Physiology

William L. Balano , DDS, MS, FICD

Literature Review

7

能力の向上と口腔装置

Performance Enhancement and Oral Appliances

Mark Roettger , DDS

Research Update

12

健康な男子大学生における

マウスピース使用の気道の開放と乳酸レベルに対する影響

Effects of Mouthpiece Use on Airway Opening and Lactate Levels in Healthy College Males

Dena P. Garner, PhD; and Erica McDivitt, MS

Research Update

17

男女大学生における

聴覚および視覚反応時間に対するマウスピースの影響

Effects of Mouthpiece Use on Auditory and Visual Reaction Time in College Males and Females

Dena P. Garner, PhD; and Jenni Miskimin, MS

Literature Review

21

軽度外傷性脳損傷の減少におけるマウスガードの役割

The Role of Intraoral Protective Appliances in the Reduction of Mild Traumatic Brain Injury

P. D. Halstead

読者の方へ

私が1961年にTMD(顎関節機能障害)治療法を理解し、取り組むようになったのには必然的な理由がありました。それは私自身が患者だったからです。

医者や患者自身が患者になることによって、その病気、疾病に対し、さらなる理解を深めるものです。TMJの問題がもたらす、生理学的な症状は難解でした。どのようにして2つの顎関節が、かような問題をもたらすのか?局所的な関節の痛みを感じると、解剖学的にも関節腔から離れた部分にも痛みを伴い、また激しい眩暈は合理的に説明できるものではないと直感しました。私は、常識的な自己評価において、この問題を解決することを是が非でも行わなければならなかったのです。これが40年以上にもわたり私が咬合障害における下顎骨の位置の研究を始めたきっかけです。

私の研究は、3つの部位からのゴールドのオンレーブリッジを第一大臼歯に使用した事に始まります。ブリッジは歯に適合したものの、咬合には問題が生じ、私のTMDが発症したのです。歯科医師や医者にアドバイスを求めましたが、誰も私の症状を解決することは出来ませんでした。彼らの名誉の為に申し上げますと、彼らはその当時は顎関節から生じる問題として治療を行っていたからです。私の症状を和らげるために様々な種類、大きさ、形の下顎位置を調整する為の装置がつけられました。その中には上顎、下顎の矯正装置もありました。アクリルレジンからつくられたもの、メタルなど、材料も様々でした。下顎頭の圧力が、炎症と痛みを関節及び周辺の筋肉に引き起こしている構造が取り除かれるまで、考えうるあらゆる機能的なデザインでつくられました。

下顎位を修正する装置は個人的評価により得られた情報に基づき作成され、今では“reverse wedge”として知られるものになりました。それは簡単でありながら効果的な装置です。臼歯の遠心部を高く小臼歯部位を低めにし設定し挙上する事が、下顎の顎部が上顎の窩から少し外にずれる事になります。顎関節における、尋常でない極度の圧力を取り除く事によって、私は痛みから解放されました。

40年前には、私の苦痛が高機能マウスウェアをつくり出すことになるとは思っていませんでした。特別増刊である“Compendium of Continuing Education in Dentistry”が読者の皆様に新しい歯科の領域をご紹介します事でしょう。

Paul Belvedere

口腔外科医 (DDS)、開業医
ミネソタ州 ミネアポリス

“While localized joint pain makes intuitive sense, associated anatomic pain away from the joint space and violent bouts of vertigo are harder to rationalize. I desperately needed to engage in a common sense self-evaluation and splint design to solve my problem.”

Left Side

パフォーマンス・マウスウェアと頭蓋顔面神経代謝生理学

William L. Balanoff

歯科医師、理学修士、国際歯科学会フェロー

この Compendium の特集号では、読者に新しい製品分類である、パフォーマンス・マウスウェアとその身体への影響を紹介する。以前からある考えは、過去の事例によって定性的に記載されてきたが、この号で提示されている文献と科学的知識は、こうした考えの新たな検討を促すもので、現在、いくつかの科学研究による実証が進められている。

神経受容体、神経伝達、神経経路の活性化と抑制の役割、ならびに神経経路、ストレス、コルチゾール、乳酸、脳震盪の原因、頭蓋顔面の筋骨格系のメカニズムについて、様々な方法で解明され始め、理解されるようになっていく。科学者らによって既知の現象が再調査されており、二重盲検研究を用いて、驚くべき結果が得られている。彼らの結論は、頭蓋顔面神経代謝生理学という、新しい科学の一部門を確立しつつある。

多くの事例による証拠だけでなく、数多くの公表されている論文が、下顎の矯正学的リポジショニング装置によって、何らかの有益な生理学的効果が得られるという主張の裏付けとなっている。臼歯間に置かれた2つの舌圧子でも、幾分、身体的強度が高められるようである。もちろん、歯科医師は、治療プロトコルにおいて、事例的証拠に基づき意思決定を行わず、科学的知識に基づい

て行う。ゴールドスタンダードは、多くの参加者による二重盲検試験である。医師が、見え透いた営利主義を科学から切り離し、客観的な解決法を処方できる時、患者は、より良い生活の質を生み出す適切で最新の治療を受けることになる。

ストレス反応

ストレスは、正常な生理学的な反応で、有益な場合があり、注意を喚起し、集中と効率を維持する。しかしながら、「闘争逃避反応」のようにストレスが過剰になると、身体は過負荷となり、能力も健康も共に悪影響を受ける。ストレスレベルの上昇に反応して、歯の食いしばりが生じる。このようなクレンチング（食いしばり）のメカニズムで、いわゆる一つの回路が完成され、脳に信号を送り、視床下部-下垂体-副腎 (HPA) 系内で、複雑な一連の反応が始まる。

HPA 系は、一つのフィードバックループで、ホルモン放出の信号を発生し¹、体の様々な部位に影響を及ぼす。ストレスの多い状況に直面すると、視床下部から副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモン (CRH) が放出され、それが、下垂体を刺激して、副腎皮質刺激ホルモンが血流内へと放出される¹。これにより、副腎皮質からのエピネフリン (アドレナリン)、ノルエピネフリン (ノルアドレナリン) とコルチゾールの放出が引き起こされ、これら全ては、身体をストレスに対応できるようにする¹。エピネフリンは、血圧、反応時間、そして心拍数を増加させ、筋肉へ血液を送る。コルチゾールは、糖を放出し、速効性エネルギーを脳や筋肉に供給する¹。

HPA 系は、辺縁系等、脳の領域と連絡し、意欲や気分をコントロールする¹。また、記憶形成、気分や意欲に重大な役割を担う海馬とも連絡している¹。他に影響を受ける領域に、体温、食欲、そして疼痛コントロール等がある。また、ストレス、ホルモン系を遮断するが、これが、成長、代謝そして免疫力に影響を及ぼす¹。これは、体のエネルギーを集め、ストレス源に向きあったり、逃避したりしなければならない時、有用な一時的な解決法として役立つ¹。しかしながら、ストレスが慢性的になると、ストレスの干渉がその力を失わせ、有害になる。

コルチゾールは、「ストレスホルモン」で、最も重要なアドレナリン誘発物質である。コルチゾールは、グルココルチコイドと呼ばれるホルモンの種類に属し、体内のほぼ全ての器官や組織に影響を及ぼす¹。科学者は、

コルチゾールには、何百というプラスの効果があるが、その最も重要な役割は、身体がストレスに適切に反応できるように促すことだと確信している。コルチゾールは、血圧と心血管機能の維持を助け、正常に機能することに欠かせないものだが、適切にバランスがとれた状態にあることが必要である¹。過剰な高コルチゾールレベルでは、特に長期間になると、内分泌系全体に、悪影響を及ぼす。高コルチゾールレベルにより、周辺視野が制限され、代謝が低下し、疲労を生じ、筋肉増強が減弱し、免疫系が抑制される¹。

試験の結果から、数ある利益の中で、ストレス下でのコルチゾールの顕著な減少だけでなく、持久力の有意な増大が示され、これは、適切に設計された口腔装置により、クレンチングのメカニズムが完結しないように阻止されたことで、闘争逃避シグナルが遮断された可能性を示唆するものである。

最新のテクノロジー

様々な企業が何年にもわたり、マウスガードにより「パワーポジション」を生み出そうと努めてきた。しかしながら、彼らの主張を立証する研究は、論文審査のある学術専門誌には現れなかった。製品は、均一な厚みのバイトプレートを採用しており、それにより、基本的に、顎位が固定、あるいは調整される。全て、かさが高く、不快で、保持するのが難しく、奏功することが証明されたものはなかった。

必要であったのは、クレンチングのメカニズムが完結するのを防ぐことで、HPA の過程を効率良く「ショート」させる装置であり、それにより、闘争逃避シグナルを遮断するものであった。その結果、これにより、能力の向上へとチャンネルが開かれ、ストレスの悪影響によって器官系に負担がかかりすぎるのを防ぐ。簡単に言うと、必要としているのは、ストレス下で歯をかみしめたり、あるいはクレンチングしたりすることを防ぐ口腔装置であり、プレコンディショニングされた闘争逃避反応を中断させる口腔装置である。

研究者は、身体の真の可能性を解き放ち、薬物無しで能力向上をもたらす独自の口腔装置の研究を行ってきた。答えは、単純なウェッジであった。適切に口腔内に装着されると、複数の方法で、運動能力が向上し、ストレスが軽減される。

ウェッジは、多成分（エラストマー、ポリマー）により

生体工学的に設計された口腔装置で、ストレス中に顎を食いしばる度に顎関節部で生じる圧を緩和するものである。ウェッジは、下顎を「最適で安全なパワーポジション」に移動させることで、この圧を緩和する。両側の後方臼歯部に「逆ウェッジ型」バイトプレートをおくと、顎にこの望ましい移動が生じる。その結果、歯をかみしめる。つまり、圧力がかかる時、対になったウェッジが必要な回転中心となり、下顎は、弧をわずかに描いて、下方に移動するよう誘導される。

Compendium のこの特集号には、ストレスコントロール、コルチゾール産生、そして現代社会で酷使されている複雑な神経経路を遮断するメカニズムに焦点を当てた研究の文献調査等、これらの装置の様々な作用に関する報告が数多く記載されている。

事実の開示

著者は、Bite Tech Inc. のアドバイザーである。

Reference:

1. Stress system malfunction could lead to serious, life threatening disease. National Institute of Child Health and Human Development Web site.
<http://www.nichd.nih.gov/news/releases/stress.cfm>. Accessed April 6, 2009

著者について

William L. Balanoff

歯科医師、理学修士、国際歯科学会フェロー

フロリダ州、フォート・ローダーデール、開業医

能力の向上と口腔装置

Mark Roettger 歯科医師

抄録：

古代の戦士から現代の運動選手まで、人類の歴史を通して、ある種の口腔装置を使用してヒトの能力を向上させ、ストレスを減弱、あるいは、力を高めることが行われてきた。今まで、この現象を説明する科学的な事実は、ほとんど理解されておらず、研究もわずかである。この論文の目的は、口腔装置により、人の能力を向上させる取り組みと、このような取り組みの背後にある科学的な事実を探求する研究を再検討することである。

過去40年以上にわたり、下顎位が上半身の強さに影響し、その結果、運動能力に影響を与えるだろうことが示唆されてきた。1980年代には、この概念には、科学的な裏付けがほとんどないように思われ、多くの批判を受けた^{1,2}。最近になって、研究により、下顎位と口腔装置が、上半身の強度だけでなく、持久力や運動競技後の回復力、集中力やストレス応答にもプラスの影響を与えることが示唆されている³。このような情報は、歯科の診療を革命的に変える可能性がある。この論文では、文献を再検討し、下顎位、クレンチング(食いしばり)、ならびに口腔装置とそれが、生理機能やヒトの能力に及ぼす影響に関する初期の研究について詳述する。

ヒトの能力向上への努力

伝説と歴史に、能力向上と口腔装置の始まりを垣間見ることができる。ローマの戦士たちは、歯の間に革ひもを挟み、戦闘能力を高めたと言われている。アメリカ原住民の女性は、分娩を楽に行うため、出産中、木の枝をかんだものであった。恐らく、この現象の最も劇的な例は、米国南北戦争中のことである。重金属の銃弾による重篤な外傷に対する外科的手段は、限られていた。結果的に、四肢のこのような外傷の多くに対して選択された治療法は、切断であった。当時、全身麻酔は、まだ初期の段階

であった。1844年、歯科医師のHorace Wellsが、手術のため意識喪失を誘発するため、初めて亜酸化窒素を使用した。したがって、兵士らは、このような処置中、激しい苦痛に耐えやすいよう、銃弾を咬むように与えられ、「bite the bullet(意味：歯を食いしばって耐える)」という言葉が生まれた。こうした兵士にとって、このような粗雑な手術で生じる途方もないストレスに対処する助けとなったであろう銃弾を咬む作用はどのようなものだったのであろうか？

早期より、咬合、口腔装置、そしてヒトの能力のこのような概念への取り組みはあったが、最適な顎位と能力との関係の探求は、ノートルダム大学のStengerらの下で、1958年に本格的に始まった。フットボールチームのスターターである、Jim Schaafは、脳震盪を経験し、その後、メニエール病、内耳膜迷路のびまん性拡張を伴う再発性衰弱性めまいと診断された。重篤な疾病の特性から、Schaafは競技できなくなった。研究者らは、彼の平衡感覚に関する問題の原因に顎関節(TMJ)の問題があると考え、コーチから彼を診察する許可を得た。研究者らは、選手の奥歯にロール綿をおき、かみ込むように指示した。患者は、ここ何週間かで初めて、耳がすっきりしたと述べた。スプリントと特製マウスガードの作成が決定され、患者は連続してスプリントを装着し、練習中はマウスガードを使用した。2週間のうちに、患者の平衡感覚は、正常に回復し、彼はフットボールチームでのスターターとしての役割を再開した。Stengerとノートルダム大学の歯科医師の同僚は、顎位により、フットボール選手の能力を向上あるいは有効にすることができた他の症例を文献で提供した。しかしながら、この症例報告は、逸話風であり、結果は素晴らしいものに思えるが、科学的には疑いが向けられている。

約10年後、Stephen Smithは、プロフットボール選手の

標本抽出による研究を行い、顎位と筋力を調査した⁵。Smith の試験ポジションは、正中線を等しく揃え、生理学的な安静位から最接近した発話時の空隙まで選手の下顎位を近づけることで得た。彼は、サイベックス2動力計 (Cybex International, Inc、メドウェイ、マサチューセッツ州) を使い、選手の筋力を測定した。Smith は参加者の顎を試験ポジションにおいた際に、筋力の向上を観察したが、データの再検討時に統計解析を利用せず、科学的にお粗末であると非難された。

1980年、Kaufman⁶ は、ボブスレーとリュージュの米国オリンピックチームに咬合改造スプリントを作成した。彼は、滑走中や滑走後に頭痛を訴えていたリュージュの選手の多くが、デンタルスプリントの装着で軽快したことを発見した。また、滑走スタート時、滑り出す際に、一部の選手で、筋力の増大が認められた。この場合もやはり、これらの結果は、非科学的で逸話的であると軽視された。

Kaufman は、彼のオリンピックでの知見を二重盲検試験により、さらに追求し、フットボール選手で下顎の矯正のリポジショニング装置 (MORA) の効果を観察した⁷。全体的な結果は、好ましいものであり、MORA を使用した選手では、膝の損傷など、重度の損傷はより少なかった。選手は、筋力の増大を報告した。

1980年代初め、二重盲検試験がイリノイ大学で行われ、20人の学生が無作為に選ばれた⁸。参加者は、診察を受け、各自に2つの装置、すなわち、Gelbにより記載されているとおり、下顎をリポジショニングするMORAと咬合に影響を及ぼさないプラセボ装置が作成された。各参加者において、3つの咬合状態、つまり、中心咬合位、プラセボスプリントを装着した状態での中心咬合位、そして、有効なMORA装置を使ったGelbのポジションについて試験した。データは、サイベックス2動力計を用いて収集した。肩の筋力測定において、MORAと通常を中心咬合位で、統計学的有意差が記録された。プラセボと中心咬合位では、有意差は認められなかった。

1996年、Dr.Harold Gelb は、1970年代から1990年代にかけて顎位と筋力の分野で発表された多くの主張や相反する主張について後ろ向きに再調査した¹。Gelb は、口腔装置を使用して能力の向上を見出した研究の多くに不備があることに気づいただけでなく、能力向上の主張に対し異議を唱える研究にも不備があることを指摘した。以前の研究のいくつかで、適切な統計学的分析が行われ

ていれば、実際に研究において、統計学的な能力の改善があることに気付いた。Gelb は、この賛否両論の時期の、重大な批判と反論について、研究者のトレーニングに基づき説明した。すなわち、臨床科学者は、大部分のトレーニングを患者の治療の中で行い、一方、基礎科学者は、実験デザインを学ぶことに、トレーニングのほとんどを費やす。科学と患者の利益のため、彼は、両サイドが共に、より緊密に力を合わせることを求めた。その後、顎位と筋力の分野の研究者らは、プラスの方向へと進んだ。その後数年間で、いくつか特に力強い研究が、ボストンにあるタフツ大学歯科医学部より発表された。数多くの異なる条件下で顎位と筋力を調査した一連のデザインに優れ、十分に比較された研究が公表された。これらの研究では、有意な筋力向上が示され、同時に、優れた設計の口腔装置が使用されていた⁹⁻¹²。

何年にもわたり、顎位と筋力の関係に関するデータを収集するため、研究のデザイン方法を改善する努力が重ねられてきた。歴史的に、顎位が運動能力にプラスに作用するかどうかについて、歯科医の間での意見は分かれている。研究により、この現象を評価することで、意見や逸話が排除され、臨床医に有効な装置を処方するために重要な知識がもたらされるであろう。テクノロジーと生物学の進歩を利用し、どのように口腔装置がヒトの能力を向上させるのかの評価に役立てつつ、その探求は続けられている。

クレンチングと

下顎位の CNS (中枢神経系) の影響

ファンクショナル磁気共鳴断層撮影 (fMRI) を用いた脳のマッピングで、安全かつ非侵襲的に神経生物学を研究する機会が与えられ、脳内部の機能について前例のない光景が示された。血中酸素レベル依存 (BOLD) fMRI が、脳のファンクショナルイメージングに最も良く用いられている形式である。ニューロンの活動に伴い、脱酸化ヘモグロビンに対する酸素ヘモグロビンの割合が高いという結果に起因して、fMRI の BOLD コントラストが生じる¹³。fMRI で撮影された画像では、作業や処理中の脳の活動領域は、実際に「明るく」なっている。

研究者らは、クレンチングや咀嚼中の脳の活動をマッピングし始めた。このような初期の研究で、クレンチングや咀嚼といった形式の顎の活動では、脳の感覚運動野だ

けでなく、島や視床下部等、脳の自律神経系領域も活性化されることが示されている¹⁴。クレンチングに關与するのがどの領域であるか、そして、下顎位がクレンチングの神経生理学に影響を与えるか否かを確認するため、さらなる研究が必要である。視床下部の興奮は、クレンチングと咀嚼系や自律神経系 (ANS) との関わりを示唆すると思われる。視床下部は、ANS の「主制御装置」と考えられており、体液電解質バランス、体温調節、ストレス調節、そしてエネルギー代謝等、様々な機能を仲介する。島は、ANS の「調整役」と考えられている¹⁴。

咀嚼系が自律神経系と密接に關連しているというさらなる証拠がいくつかの雑誌に発表されている。Gomez¹⁵は、1999年に、非機能的な咀嚼運動でストレス誘導性ドーパミンの代謝が減衰する可能性があることを示した。この活動が、中枢におけるコリン作用性神経伝達に対するストレスの影響を減少させるというのが、この研究の結論であった。

Hori ら¹⁶による2004年の研究では、非機能的な咬合によって、ストレス誘導性の視床下部-下垂体-副腎 (HPA) 系の活性化が抑制される可能性が、明らかに示された。副腎皮質刺激ホルモン放出因子は、41個のアミノ酸から成る脳下垂体刺激ペプチドで、視床下部傍室核 (PVN) のニューロンより放出される。CRF は、下垂体の前葉を刺激し、副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) を放出させ、次に、副腎から血漿中へのコルチゾールの放出が刺激される。コルチゾールはステロイドホルモンで、糖新生を増やし、抗炎症作用をもたらし、恒常性に關与する他の身体機能の多くに影響を及ぼし、体がストレスに対応するのを助ける。また、急性のストレスは、青斑核にあるノルアドレナリン作動性神経を活性化し、HPA系だけでなく、交感神経系のストレス誘発性生理反応への關与が確認されている。この研究では、ストレス中に木製スティックを咬むことが許されたラットでは、スティックを咬むことができなかったラットに比べ、視床下部傍室核 (PVN) において、CRF が有意に減少したことが示された。これらの観察結果から、咬むことに見込まれる抗ストレス作用と、ストレスへの対応における非機能的な咀嚼活動の重要な役割が示唆される。ラットにおけるスティックを咬むことによるストレスの減弱は、口腔装置がヒトにおいてもストレスのコントロールを助け、それにより、能力を向上させる可能性があることを示唆するものである。

副腎皮質刺激ホルモン放出因子 (CRF) は、神経系をおよ

びその他の器官系の多くの生理学的プロセスに關与することが明らかになってきており、集中的な研究の対象となっている。研究により、CRF レセプターが、脳の他の領域だけでなく、平滑筋、骨格筋や心筋にも確認されている¹⁷。これは、ヒトの生理の多くの領域で CRF が活性を有することを示唆するものと思われる。CRF 系の過剰な活動性が、うつ病や不安障害に關連していることが多くの証拠から示されている¹⁸。CRF の過剰産生とこれに伴う不安感は、動物モデルにおける能力低下に關係している¹⁸。また、CRF は、妊娠や出産後の罹患率や生理に關与している¹⁹。多くの神経疾患に対する有効な経口薬剤として使用される CRF の拮抗薬を見つけ出すことを目的とした高水準の神経薬理学的研究がある。CRF 産生のコントロールに役立つ可能性がある口腔装置は、歯科学と医学の両方において、極めて重要であると思われる。歯、クレンチング、口腔装置と自律神経系の關連性は、ほとんど理解されておらず、その關連性を完全に説明する徹底的な研究を行うに値する。基礎科学により、咀嚼系、視床下部と自律神経系間の關連性が示唆されており、それにより、「銃弾を咬む (biting the bullet)」が、強いストレスにさらされている人々にどのようにプラスの影響を及ぼし得るかが明らかにされるとと思われる。口腔装置のヒトの能力への影響をより完全に理解するため、このような基礎科学研究を臨床研究へと展開させることができるであろうか？

臨床研究：

専用口腔装置のヒトの能力への影響

WEDGE 状部品 (図1図の表示) は、ヒトの能力を向上させるため、銃弾、スティックそして革ひもの使用をシミュレートしてヒトの下顎が復位するよう、設計された。この WEDGE は、多くの口腔装置 (図2図の表示) に取り



図1

下顎を復位する装置内で使用された Bite Tech WEDGE の概略図。適切に設計された口腔装置に取り付けて、ストレスの低減とヒトの能力向上を促すように設計されている。



図2
ヒトの能力を向上させるため WEDGE を組み込んだ Bite Tech 口腔装置の一部。様々なデザインが、異なるスポーツや他の用途で使用されている。

入れられ、陸上競技や、その他の多くの用途で生かされている。WEDGE により、ヒトの能力向上に対するその有効性を試験するようデザインされた実験が生み出された。

最初の試験は、1999 年テネシー大学で行われた²⁰。この研究では、WEDGE が筋力と持久力にどのように影響を及ぼすかが調査され、有酸素運動中の心拍数や血圧に加えて、握力が測定された。この研究の握力の部には、男女 123 人が参加した。結果より、女性の 93% と男性の 67% で、WEDGE 付きの口腔装置装着時、握力の増加を認めたことが示された。これらの個人からのデータで示された WEDGE を含む装置でプラセボに比べ握力が増大する信頼水準は 96% であった。有酸素持久力の部は小規模で、参加者は 17 人であった。WEDGE 装置を装着した参加者の 50% が持久力の増加を示し、これはより低い心拍数で裏付けられた。この研究で、口腔装置は筋力と持久力にどのように影響を及ぼすのか、に関する問題が提起された。

前述の研究では、肉体的ストレスにより、最終的にコルチゾールが産生されるホルモンの変化で示される通り、血圧が上昇し、HPA 系が活性化されることが指摘されている¹⁸。また、運動中の軽度のコルチゾールの増加は、有益であるとする指摘がある一方、過度の上昇は、テストステロンの抑制と不安の増大を伴い²¹、したがって、能力と持久力に悪影響を及ぼす。Hori によって行われた動物モデルにより、ストレスを受けたラットにおける CRF レベルが調べられたが、CRF を測定するには、動物を屠殺し、神経組織を免疫組織学的に分析する必要があった。ヒトの研究では、安全にストレス反応が計測できる、つまり、スティックを咬むことでラットに認めら

れたのと同様の抗ストレス作用が、特別に設計された口腔装置でヒトに認められるかを明らかにするため、コルチゾールレベルを測定できる新しいデザインが必要であった。コルチゾールは、唾液分析により、簡単かつ安全に測定可能である。唾液試験分析を用いて、Garner と McDivitt³ は、運動プロトコル中に Bite Tech(ミネアポリス、ミネソタ州)WEDGE 付き口腔装置を装着した時と非装着の時のコルチゾールレベルの相互関係を調査した。WEDGE 装置の使用により、コルチゾールレベルが低下するという明らかな傾向が認められた(装置装着時平均値 .2921 mgs/dL 対 装置非装着時平均値 .3229 mgs/dL、 $P = .389$)。実際に、コルチゾールは、参加者 18 人中 11 人で低下していた。装置で改善した参加者では、コルチゾールが 49% 減少していた。

筋活動は、「闘争逃避」反応の欠くことのできない一部である。HPA 系とそのホルモンは、強度の運動中の恒常性の維持に主要な役割を果たしている。肉体のトレーニングとコンディショニングは、EDGE 装置が試験参加者の多くで機能したように、所定の仕事量へのストレス反応の減少をもたらしたと思われる²²。参加者の半分以上でコルチゾールの有意な減少が認められた事実から、結果を明確にし、ストレス、能力と口腔装置との関連を調査するためのさらなる研究は、極めて見込みがあり、的を射ている。選手の能力向上において、ストレス反応がどのように調節される働きは、興味を掻き立てられるものであり、継続して研究されるであろう。コルチゾールと乳酸の関係が Luger により記載されている²²。EDGE 装置は、コルチゾールレベルに何らかの影響を及ぼしたことから、研究者らは、EDGE 装置と運動中の乳酸レベルとの関係を調査した。EDGE 装置を装着したものに、乳酸の有意な減少が認められた(9 ページの Garner 参照)。これは、運動中やストレスの多い条件下で、ヒトの能力に影響を与える口腔装置の能力の説明に役立つもう一つの有望な知見である。

結論:

ヒトの能力に影響を及ぼす口腔装置の概念は、新しいものではない。簡素な装置が何百年間もヒトに使用され、つらい時やつらい処置を切り抜ける助けになっていた。このような能力向上のメカニズムは、複雑で、これまでほとんど理解されていない。近年、科学により、口腔装

置のヒトの能力向上との関連が、十分に説明され始めている。最終的に、このような知識は、歯学、医学、軍隊、産業、運動競技および教育に好ましい影響を与えるものと思われる。

References:

1. Gelb H, Mehta NR, Forgione AG. The relationship between jaw posture and muscular strength in sports dentistry: a reappraisal. *Cranio*. 1996;14(4):320-325.
2. Gelb H. A too-polite silence about shoddy science: dynamic strength testing and beyond. *Cranio*. 1992;10(1):75-79.
3. Garner DP, McDivitt E. The effects of mouthpiece use on salivary cortisol levels during exercise. *Medicine and Science in Sports & Exercise*. 2008;40(5):S468.
4. Stenger JM, Lawson EA, Wright JM, et al. Mouthguards: protection against shock to head, neck and teeth. *J Am Dent Assoc*. 1964;69:273-281.
5. Smith SD. Muscular strength correlated to jaw posture and the temporomandibular joint. *N Y State Dent J*. 1978;44(7):278-285.
6. Kaufman RS. Case reports of TMJ repositioning to improve scoliosis and the performance by athletes. *N Y State Dental J*. 1980;46(4):206-209.
7. Kaufman RS, Kaufman A. An experimental study on the effects of the MORA on football players. *Basal Facts*. 1984;6(4):119-126.
8. Vergan EM Jr, Groppel JL, Pfautsch EW, et al. The effects of mandibular orthopedic repositioning appliance on shoulder strength. *J Craniomandibular Pract*. 1984;2(3): 232-237.
9. Abduljabbar T, Mehta NR, Forgione AG, et al. Effect of increased maxilla-mandibular relationship on isometric strength in TMD patients with loss of vertical dimension of occlusion. *Cranio*. 1997;15(1):57-67.
10. AL-Abbasi H, Mehta NR, Forgione AG. The effect of vertical dimension and mandibular position on isometric strength of the cervical flexors. *Cranio*. 1999;17(2):85-92.
11. Chakfa AM, Mehta NR, Forgione AG, et al. The effect of stepwise increases in vertical dimension of occlusion on isometric strength of cervical flexors and deltoid muscles in nonsymptomatic females. *Cranio*. 2002;20(4):264-273.
12. Abdallah EF, Mehta NR, Forgione AG. Affecting upper extremity strength by changing maxilla-mandibular vertical dimension in deep bite subjects. *Cranio*. 2004;22(4):268-275.
13. Jezzard P, Matthews P, Smith S. Introduction to fMRI. In: Jezzard P, Matthews PM, Smith SM, eds. *Functional MRI: An Introduction to Methods*. New York, NY: Oxford University Press; 2001:3-30.
14. Tamura T, Kanayama T, Yoshida S. et al. Analysis of brain activity during clenching by fMRI. *J Oral Rehabil*. 2002;29(5): 467-472.
15. Gómez FM, Giralt MT, Sainz B, et al. A possible attenuation of stress-induced increases in striatal dopamine metabolism by the expression of non-functional masticatory activity in the rat. *Eur J Oral Sci*. 1999;107(6):461-467.
16. Hori N, Yuyam N, Tamura K, et al. Biting suppresses stress-induced expression of corticotrophin-releasing-factor (CRF) in the rat hypothalamus. *J Dent Res*. 2004;83(2):124-128.
17. Kishimoto T, Pearse RV II, Lin CR, et al. A sauvagine/corticotrophin-releasing factor receptor expressed in heart and skeletal muscle. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1995; 92(4):1108-1112.
18. DeSouza EB, Nemeroff CB. Behavioral effects of corticotrophin-releasing factor. In: *Corticotropin-Releasing Factor: Basic and Clinical Studies of a Neuropeptide*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1990:254-264.
19. Chrousos GP, Torpy DJ, Gold PW. Interactions between the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and the female reproductive system: clinical implications. *Ann Intern Med*. 1998;129(3):229-240.

20. Alexander CF. A Study on The Effectiveness of a Self-Fit Mandibular Repositioning Appliance on Increasing Human Strength and Endurance Capabilities [master's thesis]. Knoxville, TN: University of Tennessee; 1999.

21. Selvage DJ, Rivier C. Importance of the paraventricular nucleus of the hypothalamus as a component of a neural pathway between the brain and the testes that modulates testosterone secretion independently of the pituitary. *Endocrinology*. 2003;144(2): 594-598.

22. Luger A, Deuster PA, Kyle SB, et al. Acute hypothalamic-pituitary-adrenal responses to the stress of treadmill exercise: Physiologic adaptations to physical training. *N Engl J Med*. 1987;316(21):1309-1315.

著者について:

Mark Roettger、歯科医師

Bite Tech 研究所、常務取締役

Executive Director, Bite Tech Research Institute;

ミネソタ州、ミネアポリス、ミネソタ大学歯学部、歯科

初期治療科、臨床助教授

Clinical Assistant Professor, Department of Primary Care

Dentistry, University of Minnesota School of Dentistry,

Minneapolis, Minnesota;

ミネソタ州、レイク・エルモ、開業医

Private Practice, Lake Elmo, Minnesota

健康な男子大学生における マウスピース使用の気道の開放と 乳酸レベルに対する影響

Dena P. Garner, PhD; Erica McDivitt, MS

抄録:

研究により、マウスピースの使用は、口腔顔面の外傷の予防だけでなく、筋肉の強度と持久力の向上に関連した使用についても報告されている。しかしながら、これらの向上がどのようなメカニズムによって生じるのかは、明らかにされていない。今回の研究の目的は、マウスピースの使用による運動能力の向上について、考えられる生理学的説明を理解することであった。特に、今回の研究では、マウスピース装着及び非装着での、30分間の持久運動後の乳酸レベルの違いに焦点を当てた。さらに、コンピュータ断層撮影 (CT) により、各患者 (N = 10) について、マウスピース装着、非装着での中咽頭の断面積を得た。CT スキャンにより、平均幅に有意差が認められ (マウスピース装着時 28.27 mm に対し、マウスピース非装着時 25.93 mm、 $P = .029$)、マウスピース装着状態では平均半径が増加していた (12.17 mm 対 11.21 mm、 $P = .096$)。乳酸レベルは、マウスピース非装着では、2.72 mmol/L であったのに対し、マウスピース装着状態では 1.86 mmol/L で、低下していた。今回の調査により、持久力が向上していることが示唆され、これは、マウスピースの使用により気道の開放が良好になったことと関連性があると思われる。引き続き、さらなる研究により、このような運動における向上を引き出す下顎の最適な前方移動について理解するだけでなく、これらの運動の結果に関し、考えられる機序を明確にする必要がある。

マウスピースは、口腔顔面の外傷を予防するため、様々なコンタクトスポーツで使用されている¹。歯の外傷に関する文献レビューの中で、Glendor² は、スポーツへの参加が、歯の外傷の最大の原因であると指摘した。コンタクトスポーツへの参加に伴う外傷を最小限にするため、アメリカ歯科医師会 (ADA) は、コンタクトスポーツ中の

歯の外傷を防ぐため、マウスガードの使用を推奨している³。ADA の推奨に加え、全国フットボール・ルール委員会連合などのスポーツ運営団体は、米国内の高校フットボールにおいて、マウスガードの使用を義務付けている⁴。2008-2009 年の全米大学競技協会 (NCAA) スポーツ医学ハンドブックでは、フットボール、フィールドホッケー、ラクロス、そしてアイスホッケーに携わる選手に対し、これらのスポーツ中の歯の外傷を最小限にするため、マウスガードを義務付けている⁵。

コンタクトスポーツ中の口腔顔面の外傷を防ぐ目的でのマウスガード使用の根拠となる有力な研究がある一方で、マウスピースが能力を向上させる可能性を示唆する研究もある。Smith^{6,7} は、プロのフットボール選手で、適合が良好なマウスガードにより結果的に咬合パターンが変化し、腕力の増大が認められたと指摘した。さらに、Smith は、オーバークロウが最も過大である選手で、マウスガードによりオーバークロウが補正された時、筋力の増加が最大となったことを認めた。特に、適切に調整されたマウスガードの装着により、選手の 66% が、等尺性三角筋プレスで、有意な筋力向上を示したことを観察した⁷。彼は、適合が良好なマウスガードの装着による筋力の増強は、顎関節 (TMJ) における圧の減少によるものと主張した。

筋力の向上が指摘されているだけでなく、Garabee⁸ は、マウスピースを使用し、咬合を適切化することで、7人の走者において、持久力と回復力が改善したことを記載している。彼は、走者がワックスバイトのマウスピースを装着した時、走行距離が増加し、ある走者では、週当たり 64 マイルから 100 マイルへ、また他の走者では、50 マイルから 80-100 マイルへと増加したことを認めた。

また、彼は、マウスピースを使用することにより、回復時間が短縮され、自覚的運動強度が低くなることを明らかにした。Garabee は、このような改善は、マウスピースを使用することで運動中の歯の食いしばりや歯ぎしりが軽減され、ストレスが減少したことによると仮説をたてた。

研究が展開されるに従い、Francis と Brasher⁹ により、考えられる能力向上の理由が明らかにされた。男性 10 人と女性 7 人による研究において、彼らは、20 分の高強度サイクリング中にマウスピースを装着することにより、換気の改善が得られたことを見出した(マウスピース装着で平均 43.13 l/分に対し、マウスピース非装着で 50.98 l/分)。彼らは、このような改善は、口すぼめ呼吸によると思われる、結果として、酸素飽和度が増大したと言及した。Ugalde らは¹⁰、筋強直性ジストロフィー患者において、口すぼめ呼吸により、酸素飽和度が増大したことを確認し、さらに、Tiep¹¹ は、そのような呼吸により、一回換気量、二酸化炭素排出量、酸素飽和度が増大することを示した。

Frances と Brasher による研究⁹ から引き出される、マウスピース装着中の持久力の向上について考えられる理由は、生じていると思われる生理学的なメカニズムについての手がかりとなる。能力に向上が認められるかどうかをまず理解するために、著者らの研究室では、一連の予備試験を行い、第一に、マウスピースの使用が乳酸レベルに影響を及ぼすかどうかを明らかにした。Frances と Brasher⁹ が示唆したように、換気が改善されるならば(つまり、酸素飽和度と二酸化炭素除去量の増大)、必然的に、乳酸レベルも改善するものと思われる。著者らは、参加者 24 人において、最大心拍数の 85% での 30 分間のトレッドミル上でのランニング後、乳酸レベルが改善していたことを認めた(マウスピース装着 4.01 mmol/L に対し、マウスピース非装着 4.92 mmol/L)¹²。

このようなデータにより、マウスピース使用時の生理的改善が示唆されたことから、次の段階はこのような改善の考えられる理由をさらに明確にすることであった。Trenouth と Timms¹³ は、中咽頭の気道の開放度と下顎の長さに関連性を見出し、開放度が小さいほど、下顎の長さは短かった。彼らは、以前の研究に言及し、下顎を前方位にリポジショニングすることで、気道が開

放され、呼気と吸気のガス交換が促されることを示唆した。(睡眠中に気道の開放度が減少する)睡眠時無呼吸とマウスピースに関連する文献では、マウスピース(リテーナーのように適合し、下顎の歯を前方位でリラックスさせる装置)を装着した患者では、気道の開放度が有意に改善されることが指摘されている。Kyung と同僚は¹⁴、12 人の睡眠時無呼吸患者で、下顎を口腔装置を用いて前方移動させ、無呼吸・低呼吸インデックスが、44.9(装置無)から 10.9(装置有)に減少したことを見出した。また、Gale と同僚は、¹⁵ 患者が、意識下背臥位の状態で下顎前歯部装置を装着することにより、平均気道開放度が有意に改善することを認めた。特に、Gale らは¹⁵、32 人の患者において、マウスピース非装着に対し、マウスピース装着状態では、咽頭部平均最小断面積が 28 mm² に増大したことを見出した。Gao と同僚の記載によると¹⁶、彼らの参加者においては、下顎の前方移動は、マウスピース使用で 7.5% であったと記している。彼らは、特に、中咽頭部 (P = .0258) と口蓋帆咽頭 (P = .006) で有意な開放を認めた。Zhao らもまた¹⁷、調節性下顎用特注マウスピースの使用で口蓋咽頭部の開放が、0 mm の 3.27 mm² から 2 mm で 8.45 mm²、4 mm で 17.73 mm²、6 mm で 24.45 mm²、8 mm で 35.82 mm² に、有意に増大したことを見出した。この研究により、マウスピースのポジショニングが、気道の開放度に影響を及ぼし、下顎の前方位への移動量が大きいほど、口蓋帆咽頭がより大きく開放される結果になることが示唆される。著者の研究室での知見だけでなく、過去の研究の知見から、マウスピースの使用により、気道の開放が増大し、乳酸レベルが低下することを今回の研究の仮説とした。

方法：

今回のパイロットスタディでは、著者は、参加者 10 人を募り、マウスピースの使用により気道の開放に違いがあるか、また、30 分間のランニング後、乳酸レベルに違いがあるかを明らかにした。使用したマウスピースは、煮沸し、咬み込むタイプの上顎用マウスピースで、近位に対し遠位でより大きく咬合を挙上するようになっていた(EDGE、Bite Tech Inc、ミネアポリス、ミネソタ州)。参加者は、18-21 歳の男性で、シタデルの学生であった。全ての参加者で、マウスピース装着および非装着状態でコンピュータ断層撮影(i-CAT 3D Dental Imaging System、Imaging Sciences International、ハットフィー

ルド、ペンシルベニア州) を行い、それぞれについて平均中咽頭面積を測定した。その後、参加者の最大心拍数の75%–85%で、トレッドミル上で30分間のランニングを2回行い、ランニング開始直後、15分後、そして30分後の乳酸レベルを評価したアキュトレンド乳酸分析器、Sports Resource Group, Inc(ミネアポリス、ミネソタ州)参加者には、ランニング試験中、無作為にマウスピースが割り当てられ、試験の前日と当日は運動しないように求めた。参加者が協力できなかった場合、コンプライアンスが守られた翌日に出直してもらうよう、依頼した。

結果：

今回の研究の結果より、中咽頭の平均幅の値は、マウスピース非装着の25.93 mm に対し、マウスピース装着では28.27 mm で、有意な増加を示した ($P = .029$) (図1図の表示)。さらに、半径の平均値は、マウスピース非装着に対しマウスピース装着で増加していた (12.17 mm 対 11.21 mm、 $P = .096$) (図1図の表示)。これまでの研究で示唆された通り、運動前から運動後の乳酸レベルの差は縮小されたが、有意差はなかった。(マウスピース装着 1.86 mmol/L 対マウスピース非装着 2.72 mmol/L) (図2図の表示)。

考察：

睡眠時無呼吸患者で、適合するよう特別に作った口腔装置で、特に下顎の前方移動の結果、上気道が改善することを示唆する研究は沢山ある¹³⁻¹⁸。Ryan と同僚は¹⁸ 下顎を前方移動させる口腔装置の使用により、無呼吸指数と口蓋帆咽頭の断面積が改善されることを見出した。また、Kyung らは¹⁴ 無呼吸–低呼吸指数の低下を観察し、平均指数は、44.9 から、口腔装置装着で 10.9 まで減少した。

最も有益であろう前方移動量を明らかにするため、研究が続けられている。Zhao と同僚¹⁷ による研究では、参加者の気道開放度の改善には一定の幅があった。すなわち、下顎が前方位に移動されるほど、気道がより大きく開放していた。また、今回の研究では、特定のマウスピースが使用されたことに留意が必要である。この特殊なマウスピースは、ランニング時に参加者への障害が最小限となり、しかも、下顎も前方位に移動されるように、デザインされている。マウスピースは、参加者が使いやすく、成型しやすいものであり、参加者は、使用中、呼吸パターンの異常に気付かなかった。マウスピースの違いがどのように気道の開放に影響し得るかを解明するさらなる研究が必要である。そのような研究では、マウスピースを用いて下顎の移動を測定し、これが健康な参加者において気道の開放にどのように影響を及ぼすかに重点的に取り組むべきである。

研究の結果、マウスピースの使用で、これら健康な参加者において気道の開放度が増し、運動中のマウスピースの使用により、乳酸レベルが改善されることが示唆される。睡眠時無呼吸患者でのこれまでの研究で、マウスピースの使用で気道の開放が改善されることが示されていたが、健康な若年者集団(年齢 21 +/- 1.1 歳)におけるデータは限られていた。しかしながら、今回の研究は、14人(年齢 27.7 +/- 1.9 歳)の健康な日本人男性で磁気画像を撮影した Gao と同僚¹⁶ による研究と同様であった。Gao ら¹⁶ は下顎がより前方位に移動されるよう特別にデザインされ、適合するよう特注した口腔装置で、気道の開放度が改善されるのを認めた。彼らの研究では、口蓋帆咽頭 ($P = .0006$) と中咽頭 ($P = .0258$) で有意な改善が見出され、また、今回の研究では、中咽頭の幅 ($P = .029$) において有意な改善が認められた。

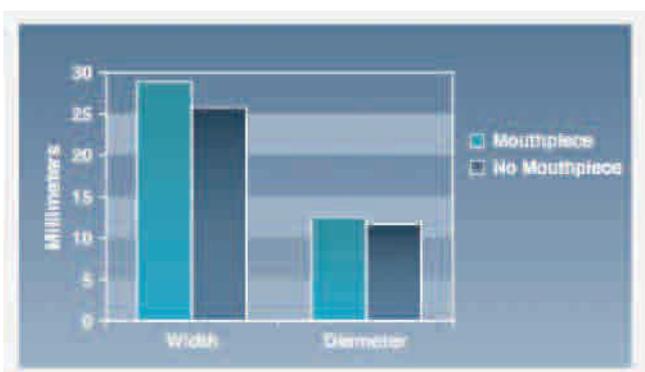


図1

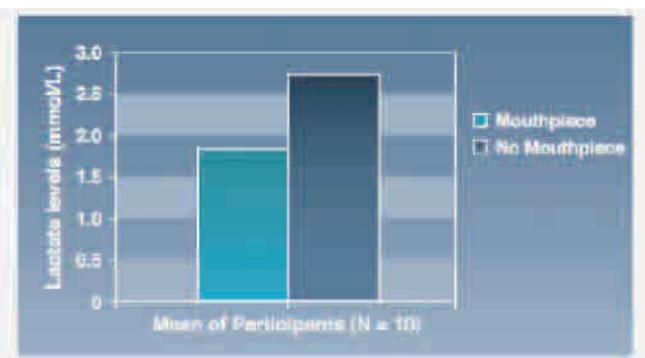


図2

各患者で CT スキャンを 2 回撮影するのに費用がかかるため、今回の研究では、参加者数が限られた。さらに、この研究は、パイロットスタディとしてデザインされ、1) 健康な参加者において、マウスピースの使用で気道の開放度が変化するか、そして、2) これが、乳酸レベルの低下という形の結果になるかを突き止めるのが目的であった。結果から、関連性がある可能性が示唆され、マウスピース使用に伴う能力の向上の考えられる一つの生理学的説明になりうると思われる。

今回の研究では、“マウスピース無し”に対し、“マウスピース有り”で乳酸レベルが低くなる傾向があったものの、乳酸レベルに有意差は無く、この原因として、被験者数が少ないことが推察される。著者の以前の研究 (N = 24) で示唆されたように、トレッドミル上の 30 分間のランニング後、マウスピース非装着に対し、マウスピース装着により、乳酸レベルは有意に低下した (“マウスピース有り” 4.01 mmol/L に対し、“マウスピース無し” 4.92 mmol/L) (図 3 図の表示)。

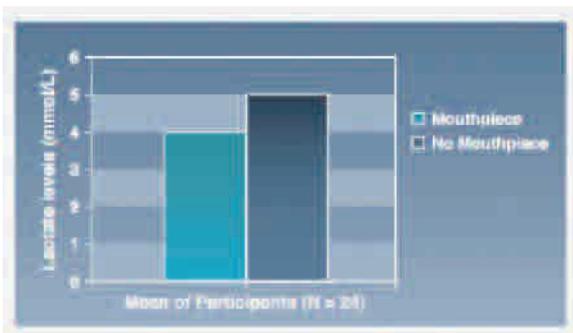


図 3

研究では、一貫して、運動による疲労と乳酸レベルの上昇との相関関係が指摘されている。運動強度を上げると、エネルギー必要量を満たすために、解糖経路の利用が高まる。この経路の最終結果が、乳酸の産生である。乳酸は、乳酸塩と水素イオンに分解され、この水素イオンの増加が、負の代謝経路をたどり、疲労をもたらす¹⁹⁻²⁰。従って、乳酸から生じる水素のレベルを低下させることができるメカニズムはいずれも、選手が疲労するまでの時間を増大させるはずである。例えば、運動中に利用される経路が、より酸素に依存するものであれば、乳酸のレベルは低下するであろう。しかしながら、乳酸レベルの低下と気道開放の増大の、この関連を説明するのは、複雑な問題であり、さらなる調査が必要である¹²。

これまでの研究により、呼吸仕事量を改善することで、酸素摂取と換気が減少するため、運動時間が改善されることが認められている²¹⁻²²。特に、呼吸メカニズムが改善されると、通常、呼吸筋は、激しい運動中、酸素必要量の約 10% を必要とするが、その呼吸筋が必要とする酸素と血流量が減少する。呼吸筋への血流が減少することは、運動している骨格筋への血流の増大を意味し、疲労までの時間を延長させることになるであろう。特に、Harms と同僚は、(変動補助式酸素吸入器により)呼吸筋の作業量が減少すると、運動による疲労状態になるまでの時間が、試験の 76% で、平均 1.3 分 (+/-0.4 分) 増えたことを見出した²²。

呼吸筋機能の改善は、マウスピース使用中に生じる唯一のメカニズムではないであろう。Kilding と同僚²³による研究は、興味深く、持久力のあるランナー (N = 36) において、酸素動態の反応時間を調査し、5 キロメートルのタイムトライアルへの予想される影響の解明を試みた。この研究からの重要な知見は、中強度運動の開始時に第 II 相酸素取り込み反応が速いほど、5 キロメートルでより速い成績が得られたことであった。かくして、彼らは、(第 II 相反応の短縮によって示されるように) 運動開始時に酸素不足の程度が低いランナーほど、疲労までの時間が延長し、これは、5 キロメートルの成績がより良好であったことから示唆されると結論づけた。Casaburi と同僚²⁴による過去の研究では、運動開始時に酸素欠乏を低減させることで、乳酸産生の減少をもたらし、場合によっては、持久力を改善する可能性があるとして述べ、Kilding はこの研究を引用した。今回の研究より、気道開放度が増すことで、酸素欠乏の低減および/または呼吸作業量の改善等、酸素動態が改善され、乳酸産生が改善されると思われるメカニズムが示唆される。

結論:

今回の研究では、同一の参加者で、マウスピースを非装着の状態に比べ、マウスピースの使用により、気道の開放度が有意に改善したことが見出された。さらに、参加者の乳酸レベルは、マウスピース非装着時に対し、装着時で改善されている。マウスピースの使用による気道開放の増大により引き起こされたと思われる運動開始時の酸素動態の改善、あるいは呼吸作業量の改善が、乳酸レ

ベルの減少を説明するものの一つと思われる。マウスピースの使用とそのヒトの能力への影響の分野におけるこれまでの研究により、マウスピースが能力を向上させることが示唆されている。しかしながら、これらの研究では、このような改善が得られる生理学的なメカニズムを解明することができなかった。今回の研究は、運動選手らが指摘するように、能力の改善に対する考えられる生理学的な説明を示唆するものであり、ヒトの運動領域で今までにないものである。さらなる研究で、運動やスポーツ中、マウスピースが役立つと思われる個人について、顎の形態や気道力学における違いに留意し、これらの改善の原因について重点的に取り組む必要がある。

References :

1. Hughston JC. Prevention of dental injuries in sports. *Am J Sports Med.* 1980;8(2): 61-62.
2. Glendor U. Aetiology and risk factors related to traumatic dental injuries—a review of the literature. *Dent Traumatol.* 2009;25(1):19-31.
3. ADA Council on Access, Prevention and Interprofessional Relations; and ADA Council on Scientific Affairs. Using mouthguards to reduce the incidence and severity of sports-related oral injuries. *J Am Dent Assoc.* 2006;137(12):1712-1720.
4. Bureau of Dental Education, American Dental Association. Evaluation of mouth protectors used by high school football players. *J Am Dent Assoc.* 1964;68: 430-442.
5. Klossner D, ed. 2008-2009 NCAA Sports Medicine Handbook. 19th ed. Indianapolis, IN: NCAA; 2008:94-95.
6. Smith S. Muscular strength correlated to jaw posture and the temporomandibular joint. *N Y State Dent J.* 1978;44(7):278-285.
7. Smith SD. Adjusting mouthguards kinesiologically in professional football players. *N Y State Dent J.* 1982;48(5):298-301.
8. Garabee WF. Craniomandibular orthopedics and athletic performance in the long distance runner: a three year study. *Basal Facts.* 1981;4(3):77-81.
9. Francis KT, Brasher J. Physiological effects of wearing mouthguards. *Br J Sports Med.* 1991;25(4):227-231.
10. Ugalde V, Breslin EH, Walsh SA, et al. Pursed lips breathing improves ventilation in myotonic muscular dystrophy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(4):472-478.
11. Tiep BL. Pursed lips breathing—easing does it. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2007;27(4):245-246.
12. Garner DP, McDivitt E. The effects of mouthpiece use on salivary cortisol and lactate levels during exercise. *MSSE Suppl.* In press.
13. Trenouth MJ, Timms DJ. Relationship of the functional oropharynx to craniofacial morphology. *Angle Orthod.* 1999;69(5):419-423.
14. Kyung SH, Park YC, Pae EK. Obstructive sleep apnea patients with the oral appliance experience pharyngeal size and shape changes in three dimensions. *Angle Orthod.* 2005;75(1):15-22.
15. Gale DJ, Sawyer RH, Woodcock A, et al. Do oral appliances enlarge the airway in patients with obstructive sleep apnea? A prospective computerized tomographic study. *Eur J Orthod.* 2000;22(2): 159-168.
16. Gao X, Otsuka R, Ono T, et al. Effect of titrated mandibular advancement and jaw opening on the upper airway in nonapneic men: a magnetic resonance imaging and cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125(2): 191-199.
17. Zhao X, Liu Y, Gao Y. Three-dimensional upper-airway changes associated with various amounts of mandibular advancement in awake apnea

- patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(5):661-668.
18. Ryan CF, Love LL, Peat D, et al. Mandibular advancement oral appliance therapy for obstructive sleep apnoea: effect on awake caliber of the velopharynx. *Thorax.* 1999;54(11): 972-977.
19. Green HJ. Neuromuscular aspects of fatigue. *Can J Sport Sci.* 1987;12(3): 7S-19S.
20. Westerblad, H, Lee JA, Lännergren J, Allen DG. Cellular mechanisms of fatigue in skeletal muscle. *Am J Physiol.* 1991;261(2 pt 1): C195-C209.
21. Harms CA, Wetter T, McClaran SR, et al. Effect of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1998;85(2):09-618.
22. Harms CA, Wetter TJ, St Croix CM, et al. Effect of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol.* 2000;89(1):131-138.
23. Kilding AE, Winter EM, Fysh M. Moderate-domain pulmonary oxygen uptake kinetics and endurance running performance. *J Sports Sci.* 2006;24(9): 1013-1022.
24. Casaburi R, Storer TW, Ben-Dov I, Wasserman K. Effect of endurance training on possible determinants of VO₂ during heavy exercise. *J Appl Physiol.* 1987;62(1): 199-207.

著者について :

Dena P. Garner, PhD

サウスカロライナ州、チャールストン、シタデル、
健康運動スポーツ科学学科、助教授

Assistant Professor, Department of Health, Exercise and
Sport Science, The Citadel, Charleston, South Carolina

Erica McDivitt, MS

サウスカロライナ州、チャールストン、シタデル、
健康運動スポーツ科学学科、研究助手

Research Assistant, Department of Health, Exercise and
Sport Science, The Citadel, Charleston, South Carolina

男女大学生における 聴覚および視覚反応時間に対する マウスピースの影響

Dena P. Garner, PhD; Jenni Miskimin, MS

抄録：

運動科学の研究では、マウスピースの使用により、能力が向上する可能性があることが示唆されており、さらに、顎関節 (TMJ) のポジショニングが良好になることが、このような向上に関連しているのではないかと考えられている。研究により、TMJ のポジショニングが改善されることで、TMJ 領域の血流が改善されることが示唆されている。口腔装置の使用により TMJ のポジショニングが一層良い方向に変化すると思われる。この研究の目的は、煮沸して咬み込むタイプのマウスピースを使用し、聴覚および視覚反応時間に改善が認められるかどうかを明らかにすることであった。BIOPAC システムを使用し、試験参加者 (N = 34) に、40 回の試験の中で、聴覚信号に反応するよう求めた。視覚反応試験においては、参加者 (N = 13) が、全 30 回の試験において、コンピュータの合図にどれだけ素早く反応したかを評価した。聴覚の結果では、マウスピース不使用 (249.94 ms) に比べ、マウスピース使用 (241.44 ms) で、有意な改善が認められた。視覚の結果では、マウスピース不使用 (287.55 ms) に比べ、マウスピース使用 (285.55 ms) で、試験者はわずかに優れた成績を示した。これらの知見により、マウスピースの使用は、視覚と聴覚の反応時間に好ましい効果をもたらすことが示唆され、これは、スポーツと運動の成績を最善なものにするには欠かせない一側面である。さらなる研究によって、引き続き、マウスピースの使用による聴覚と視覚の反応時間の改善について、考えられる理由を明らかにしていく必要がある。加えて、TMJ ポジショニングの改善とこれらの向上に関連性があるのであれば、その関連性をさらに解明するさらなる研究が必要である。反応時間とは、刺激を受けてから筋肉の反応が生じるまでの時間であり¹、単純反応時間、選択反応時間、そして識別反応時間として評価される¹。上記状況のい

ずれにおいても、様々な集団において、感覚器官へのシグナルを確かめることが可能である。例えば、Borysiuk² は、フェンシングの上級者と初心者において、触覚刺激、聴覚刺激、そして視覚刺激を用いて、反応と動作の時間を評価した。彼は、フェンシング上級者で、視覚刺激 ($P < .057$) と触覚刺激 ($P < .029$) では、反応時間が有意に良好であったが、聴覚刺激については、フェンシングの上級者と初心者間で有意差は無いことを見出した。しかしながら、3 つ全ての刺激において、平均反応運動時間は、初心者に対し、フェンシング経験者でより短い値であった。Borysiuk は、フェンシングの上級技術を持つ人々では、フェンシングのトレーニングにより反応時間が改善され、それが、優れた能力を説明するものであることを見出した²。運動科学における多くの研究により、マウスピース使用による能力向上の可能性が示唆されており、それは顎関節のポジショニングが改善されることと関係があると考えられる。顎関節のポジショニングが適切でないと、関節内の神経や動脈は閉塞し、周辺組織の緊張を引き起こし、それによって、血流が減少する³⁻⁷。マウスピースにより顎関節をニュートラルな状態にすることで、患者は、顎、頭部、頸部の痛みが減少し、それと共に、体力も増大したと、担当の歯科医に報告している。このような体力の向上は、顎関節での緊張の減少に伴い、血流と酸素動態が改善されることと関連すると思われる、その結果、運動中の骨格筋への血流の改善が生じるものと思われる⁸⁻¹⁰。

マウスピースにより、筋力と持久性が向上することを示すいくつかの研究がある¹¹⁻¹⁴ 特に、Fuchs⁷ は、40 人の女性において、上下の歯の間にワックスバイトをおき、結果として咬合高径が 3mm となった際に、上半身および下半身の等尺性筋力が向上したことを見出した。ワッ

クスバイトの使用により最も改善されたのが、等尺性(筋)力に関してであり、左腕で 8%、右腕で 4.5%、左足で 6.3%、そして左足で 11% 増大した。Alexander¹⁵ は、61 人の男女参加者において、EDGE マウスピース (Bite Tech Inc、ミネアポリス、ミネソタ州) の試験を行い、この知見を確認し、マウスピース使用時、握力が 74% 向上したことを見出した。

著者らは、マウスピース非装着に対し、マウスピース装着により、筋持久力が有意に改善したことを見出した。具体的には、参加者が非装着時に比べ、装着した場合、ベンチプレスの平均回数が 11% 増加し、一方、プリーチャーカールの平均回数が 17% 増加したことを突き止めた (ベンチプレス、 $P=.03$; プリーチャーカール、 $P=.004$)。このように、マウスピースが運動成果を向上させることを示唆するデータに基づき、運動能力、特に、反応時間の向上に関し、マウスピース装着の考えられるメリットをさらに明確にすることを今回の研究の目標とした。

方法：

研究には、視覚および聴覚の反応時間の評価を用いた。聴覚の部には、34 名が参加し、視覚の部には 13 名が参加した。年齢範囲は、18 歳から 21 歳であり、シタデルの学生組織より参加者を募集した。研究は、学内審査委員会により承認され、全参加者が同意書に署名した。

BIOPAC システム (ゴレタ、カリフォルニア州) 装置を使用し、聴覚反応時間を測定した。BSL-SS10L プッシュボタン式ハンドスイッチ (BIOPAC Systems Inc)、BSL-OUT1 ヘッドホン (BIOPAC Systems Inc)、そして、Windows 95/98/NT 4.0/2000、Microsoft® Corp (レッドモンド、ワシントン州) を採用した。各参加者は、目を閉じて、リラックスした姿勢で座り、ボタンを押すために適切な位置に親指を置いた状態で、利き手でハンドスイッチを握った。ヘッドホンから音が聞こえたらこのボタンを押すように指示された。全員が、4 区分、それぞれ 10 回の試験を受けた。区分 1 と 2 では、疑似ランダム間隔 (1 から 10 秒) での刺激が盛り込まれ、一方、区分 3 と 4 では、一定間隔 (4 秒毎) での刺激を用いた。

視覚試験では、テキサス A&M 大学で開発された、MS-DOS ベースの運動性学習活動ソフトウェアシステム (Motor Learning Activity Software System) を用いた。このシステムでは、ヒックの法則を利用しており、これは、反応時間は 2 を底とする対数関数 ($\log_2 n$) 的に増加する

とするというもので、ここで「 n 」は同等に可能な選択肢の数である。具体的には、参加者に、コンピュータ画面に表示された文字に対応するコンピュータキーボード上の同じ文字の上に指をおくように依頼した。コンピュータ画面上の各文字の上には、4 つの大きな円があった。プログラムは、10 回の試験を 3 セット行うものであった。最初の試験では、文字がその下に隠れている一つの円の上に線が表示される。疑似ランダム時間 (1-10 秒) の後、円が白くなり、その時点で、参加者はできるだけ素早く反応し、キーボード上の対応する文字を打つことになっていた。第二セットの 10 回の試験では、二つの円の上に線が現れるが、白くなるのは一つの円のみで、参加者はできるだけ素早くキーボード上の対応する文字を打つことになっていた。最後のセットの 10 回の試験では、4 つ全ての円上に線が現れ、疑似ランダム時間の後、一つの円が広くなり、それから、参加者は、できるだけ素早く反応し、キーボード上の対応する文字を打つことになっていた。参加者は、解説したヒックの法則の試験を 2 セット、合計して 60 回の試験を終えた。

研究の両方の部で、参加者は、マウスピース (煮沸後咬み込みタイプの EDGE) 装着状態、並びに非装着状態で試験を終えた。このマウスピースは、口腔内において、近位部より遠位部で開口度が大きくなるようにデザインされていた。マウスピースの割り当ては、無作為で、参加者は、その使用により、プラスまたはマイナスの何らかの効果が生じるかどうかについては知らされていなかった。

結果：

聴覚試験の結果から、参加者 ($N=34$) は、マウスピース非装着時より、装着時に有意に良好な成績を示した ($P=.004$)。マウスピース装着時の平均値は、241.44 ms で、それに対し、マウスピース非装着では、249.94 ms であった (図 1 図の表示)。60% で、マウスピース装着時に、成績がより良好であった。視覚試験では、参加者 ($N=13$) は、マウスピースの装着により、わずかに良い成績を残した ($P=.681$)。マウスピース装着時の平均値は、285.55 ms であり、これに対し、マウスピース非装着時は、287.55 ms であった。参加者の 62% で、マウスピースの装着により、成績はより良好であった (図 2 図の表示)。

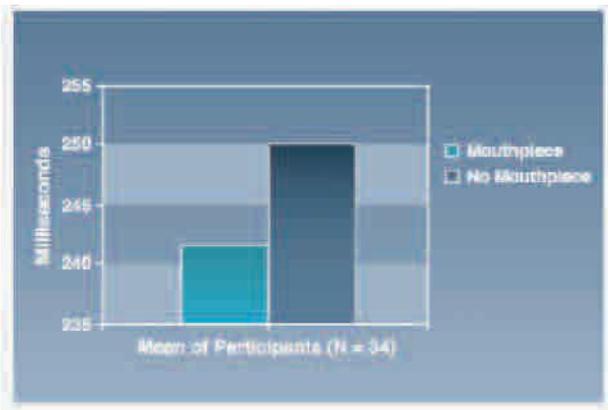


図1

考察：

今回の研究で、マウスピースの使用は、聴覚と視覚の反応時間に改善をもたらすことが示唆される。聴覚の評価で見出された有意性から、結果が、偶然の一致でないことが示されている。視覚試験で有意差が認められなかったのは、参加者数が少ないことが原因と思われる。より多くの参加者を募集していれば、マウスピースの装着により、視覚の反応時間が短縮される傾向がより明確になったものと思われる。

しかしながら、どのようにして、マウスピースでそのようなメリットが生じるのかが問題である。特に視覚や聴覚の刺激による反応時間は、刺激で始まり、動作開始で終わる複雑な一連の事象である。例えば、視覚刺激を用いた反応時間では、一次視覚野から始まり、ここから二つの処理の流れが生じる。最初の流れは、物体の認識を引き起こし、二番目の流れは、行動の誘導を伴い、後頭頂葉皮質から生じる。眼運動系には、前頭葉皮質から始まる3つのループが含まれている。最初のループは、脳幹を通り、次に視床を通り、皮質に戻ってくる。2番目のループは、尾状核、黒質、そして、視床を通り、皮

質に戻る。最後のループは、上丘と視床を通り、皮質に戻るが、3つ全てのループで相互にやり取りが同時に行われている¹⁶。聴覚反応時間は、効率のよい中耳にあるラセン器のレセプターが関わっており、ここから、音が感覚神経を經由して、大脳皮質の側頭葉に送られる。視覚刺激では、視覚路に関わる感覚神経の数が多いため、聴覚刺激に比べ、ゆっくりとした反応が生じることがよく知られている²。したがって、マウスピースがこのような経路に影響を及ぼすメカニズムは、複雑で、さらなる調査に値すると思われる。

マウスピースの使用による顎関節におけるストレス減少を主張している研究も、反応時間が改善される説明の一つになると思われる⁸⁻¹⁰。顎関節が適切に調整されるマウスピースを使用し、血流と神経伝達が改善されるならば、酸素負荷がさらに軽減された血流が、頭頸部の他の領域で増加し、結果的に、反応時間などの事象における改善につながる可能性がある。聴覚的、そして視覚的な合図による反応時間は、複雑な一連の事象であり、血流の改善により、何らかの方法で、調節されていると思われる。これらの系内の生理学的メカニズムが、マウスピースの使用で生じる顎関節の適切な調節により影響を受けるかどうか、さらなる研究により確認する必要がある。

結論：

今回の研究では、マウスピース装着と非装着で聴覚と視覚の反応時間を調査した。多くのスポーツでは、聴覚や視覚による合図を使用する必要があり、好ましい競技成績を得られるのは、反応時間の改善次第である。これらの知見が正しいのであれば、マウスピースを使用することで、多くの選手が成績を向上させることができる可能



図2

性があると仮定できるであろう。マウスピースがどのように生理学的に成績に影響を及ぼすかをより理解するためには、さらなる研究が必要である。

References:

1. Magill RA. The measurement of motor performance is critical to understanding motor learning. In: Magill, RA, ed. *Motor Learning Concepts and Applications*. 5th ed. Boston, MA: McGraw-Hill; 1998:17-20.
2. Borysiuk Z. The significance of sensorimotor response components and EMG signals depending on stimuli type fencing. *Acta Uni Palacki Olomuc Gymn*. 2008;38(1): 43-51.
3. Fonder AC, Alter JL, Allemand LE, et al. Malocclusion as it relates to general health. *Ill Dent J*. 1965;34: 292-302.
4. Fonder AC, Allemand LE. Malocclusion, dental distress and educability. *Basal Facts*. 1977;2(2):74-87.
5. Fonder AC. *The Dental Physician*. Blacksburg, VA: University Publications; 1977:25-162.
6. Salaam A. The orthopedic approach to muscular dysfunction. *Basal Facts*. 1980;4(2):57-60.
7. Fuchs CZ. *The Effect of the Temporomandibular Joint Position on Isometric Muscle Strength and Power in Adult Females [dissertation]*. Boston, MA: Boston University; 1981.
8. Gelb H. *Patient evaluation. Clinical Management of Head, Neck, and TMJ Pain and Dysfunction: A Multidisciplinary Approach to Diagnosis and Treatment*. Philadelphia, PA: WB Saunders Co; 1977:73-116.
9. Shore NA. *Temporomandibular Joint Dysfunction and Occlusal Equilibrium*. 2nd ed. Philadelphia, PA: JB Lippincott Co.; 1976.
10. Fonder AC. Stress and the dental distress syndrome. *Basal Facts*. 1976;1(3):119-132.
11. Stenger JM. Physiologic dentistry with Notre Dame athletes. *Basal Facts*. 1977;2(1):8-18.
12. Smith SD. Muscular strength correlated to jaw posture and the temporomandibular joint. *N Y State Dent J*. 1978;44(7):278-285.
13. Smith SD. Adjusting mouthguards kinesiologically in professional football players. *N Y State Dent J*. 1982;48(5):298-301.
14. Garabee WF. Craniomandibular orthopedics and athletic performance in the long distance runner: a three year study. *Basal Facts*. 1981;4(3):77-81.
15. Alexander CF. *A Study of the Effectiveness of a Self-Fit Mandibular Repositioning Appliance on Increasing Human Strength and Endurance Capabilities [master's thesis]*. Knoxville, TN: University of Tennessee; 1999.
16. Stuphorn V, Schall JD. Neuronal control and monitoring of initiation of movements. *Muscle Nerve*. 2002;26(3):326-339.

著者について :

Dena P. Garner, PhD

サウスカロライナ州、チャールストン、CITADEL、
健康運動スポーツ科学学科、助教授

Assistant Professor, Department of Health,
Exercise and Sport Science, The Citadel, Charleston, South
Carolina

Jenni Miskimin, MS

ワシントン州、エベレット市、ザ・ボーイング・カンパニー、
ボーイング・アクティビティ・センター、ACSM 健康フィッ
トネススペシャリスト、

ACSM Health and Fitness Specialist,
Boeing Activity Center, The Boeing Company, Everett,
Washington

軽度外傷性脳損傷の減少における マウスガードの役割

P. D. Halstead

抄録:

マウスガードは、歯の外傷減少に関する結果が良好なため、いくつかのスポーツで使用され、義務付けられてきた。近年、マウスガードが脳の損傷を予防するという主張が出てきている。この論文では、そのような主張に関するデータと実施された基礎科学、そして、将来的に、あるタイプの軽度外傷性脳損傷の軽減をめざし、口腔内装置が、どのような形で頭部の特定部位へ衝撃のエネルギーが伝わることを減少させる工学的システムの一部になりうるかを検討する。

アプライアンス、あるいは、マウスガードは、歯を守るようにデザインされ、長年にわたり使用されており、大部分の衝突を伴うスポーツで、以前から義務付けられている¹。これらの装置は、ある種の歯の外傷を制限するのにある程度有効であることが示されている²。近年、マウスガードで軽度の外傷性脳損傷 (MTBI) が防げることを実証するための研究が試みられている。このような関心は、可能性のある MTBI に関連する予防的介入をはじめとして、MTBI の原因、事例、そして識別が、ますます重要視されてきたことに端を発する。このような科学的知識の一部は、空の頭蓋骨の加速度計測に基づくもので、他に、フィールドデータにより確認されているものもある³。頭蓋骨の計測研究は、興味深いものであるが、衝撃の大きさ、ひいては、衝動は、必然的に小さいものである。データでは、エネルギーの減衰が幾分認められたが、いかなる主張を行うにも不十分である。フィールドデータもまた、MTBI の有意な減少の証拠を提供するには及ばない。ごく最近の神経損傷と回復の対照研究では、マウスガードの使用により、転帰に変化は示されなかった⁴。

このようなデータ不足は、予想外のことではない。このような問題を理解するには、MTBI のメカニズムと「マウスガード」という用語の使用法を検討する必要がある。「マウスガード」という用語は、咬合に機能的な影響がほとんどないか全くない、煮沸して咬み込むタイプの「100 個単位で購入する」装置から、プロが製作したオーダーメイドの装置で、考えられる様々な下顎位で機能的に咬合を制限し、様々な材料で製作できるものまで、あらゆるものを意味するように思われる。これらのオーダーメイド装置の多くは、歯の外傷の減少に良好な実績があるが、MTBI に関し、これらの装置の機能を確認するための基準はなく、さらに、MTBI の予防において、機能的に無益である⁵。このようなオーダーメイド装置の構造と適合は、それを作成した術者と技工所により様々である。さらに、他の「中間」の装置では、安全性に関し様々な主張がなされ、保証プランが提供されており、小売店、スポーツ用品店で購入可能であり、何百万という単位で売られている。このような装置は、時に、「脳」という単語が製品名に使用されたり、MTBI の減少や、さらには予防までイラスト入りの宣伝文句が記載されていたりする^{6,7}。科学的データにより、このような宣伝文句は、誤解を招く恐れがあり、最悪、詐欺であることが示されている。

前述の研究では、多くの場合、データ収集時に使用された実際の装置の記述が無く、とりわけ、事後に競技者がプールされ、装置を装着していたかどうかを確認する後ろ向きコホート研究で、これが当てはまる。データで、MTBI の軽減の証拠が得られないこと以外に、そのデータの価値はほとんどない。最近の他のデータでは、衝撃

の伝播されたエネルギーが増大させる場合があることが示唆されている⁵。この著者の意見では、医学的に経験を積んだ個人は、上下顎骨間に置かれた装置が、MTBIにつながる、頭部のいずれの部位への打撃のエネルギーを、なんらかの形で軽減するであろうと考えるべきではない。「煮沸して咬み込む」タイプの単純な装置を上下顎間に置くことで、嵌合を効果的に防ぐ程度の効果はあるかもしれないが、一方で、下顎の歯に対して、表面は滑りやすくなると思われる。

コンタクトスポーツにおける一般的な運動選手を考慮する。彼らは、ヘルメット、フェイスプロテクター、チンキャップ、そして「煮沸して咬み込む」タイプのマウスガードを装着している。彼らは、繰り返し、「頭を上げろ」とか「顔でぶつかれ」と言われる。競技者がこのルールに従うと、なにが起こるか？ 衝撃のエネルギーは、フェイスプロテクターからチンキャップに、その後、下顎、滑りやすい表面に接した歯に伝えられる。その時、下顎が、相当な力で後方へ押し込まれてもやむを得ない。このような事象の力学では、MTBIも歯の外傷も起こしそうにはないが、下顎の外傷を生じる恐れがある。また、この種の事象は、顎頭間の空隙という傷つきやすい領域を危険にさらす可能性があり、ことによると、頭蓋底骨折や関節窩の貫入につながる。これは、競技者を調査した際の検討材料として一般的でなく、長期にわたって臨床的に問題がない可能性もあり、歯の外傷を良好に防ぐという主張は続いている。工学的、あるいは、生体力学的視点から、どのような介入であれ、その基本原則の一つに、それが、周囲の組織や構造にどのような影響を与えるかを理解することがある。この場合は、上記の衝撃の筋書きの単純な力学で、損傷の可能性が明らかになる。

MTBIの機序：

MTBIを理解し、そのような損傷の予防において、マウスガードが果たす何らかの役割を理解するには、MTBIの機序が考察される必要がある。現在、理解されているのは、その病態生理だけであるが、これらのカスケードを誘発する組織変形のメカニズムも、比較的良く理解されている⁸。脳の基本的な力学的性質は、非常に複雑な課題であるが、今回の考察のため、ここに概説する。頭蓋冠内に限定され、硬膜、軟膜、そしてクモ膜で保護され、脳脊髄液中に浸かっており、一つの構成単位として脳の動

きを制限する非常に強靱な層である鎌により隔てられ、およそ半分に分けられている。機能を担う灰白質と白質には、血液供給が行き届いている。もし、片手で脳の血液供給を完全な状態で保持でき、もう一方の手で鎌を使って灰白質と白質を持つことができたなら、二つの脳を持っているように見えるであろう。この奥深く、複雑な組織系は、時折、この粘性系に対応を求める衝撃と衝動への反応の仕方が非常に異なる。

この系は、異なる力学的性質を持つ物質が組み合わされているため、組織変形の問題は明らかとなる。この複合体をゆすることを想像し、灰白質と白質の神経細胞の軸索が、より強固な物質である鎌や血液供給の周囲で変形しているのを思い浮かべていただきたい。いくつかの要因により、その中でとりわけ、衝撃あるいは力のベクトルの大きさと方向により、どれほど、組織の変形が変化に富む可能性があることが分かるであろう。また、これで、回転力や角度力が、低いレベルで最も障害を引き起こしやすいことも明らかになる。この種の損傷には、実際に頭部自身への衝撃は必要ではなく、非衝撃性の素早い動きで起こりうる⁹。むしろ、衝撃の要素は、そのような現象の最初、あるいは、最後にある⁹。したがって、MTBIを生じるほぼ全ての事象で、直線力と回転力の両方が作用している。このような理由から、ヘルメットは、MTBIとびまん性軸索損傷(DAI)の予防に、良くも悪くもあり、有用性は限定的であることが明らかである。

幾分、単純化しすぎではあるが、次の2つのシナリオは、これらの障害の複雑さの例である。まず、比較的動いていない状態の頭に物体がぶつかる。衝撃は、頭は胴体につながっていて、平行移動できるのは、わずかな距離であることから、衝撃は、直線的に加速し、次に回転することになる。この場合、ヘルメット非装着では、衝撃の強度によるが、点荷重を受け、回転加速が生じる前に、頭蓋骨折と重大な直線状の損傷を受けるとと思われる。この種の事象では、ヘルメットは、必須であり、ヘルメットは、負荷面積を広げ、点荷重を減じ、それによって、平行移動や回転の衝動も減弱させるからである。このような理由から、ヘルメットは損傷の減少と頭蓋骨折、硬膜下血腫、そして突然死等の事故の予防に優れた実績がある。

二番目のシナリオでは、頭部は動いている。例えば、バイクから落ちて、肩が地面に着いた後に、頭が舗装道路に衝突したとする。このような場合、この事象の直線的な部分は、回転の事象の後であるため、頭部を打つ前に、非常に大きな回転の衝動がある。ヘルメットを装着していても、びまん性軸索損傷に限定されるが、重大な脳の損傷が生じ、これは、回転の結果である。ヘルメットは、頭蓋骨折と組織を破壊するような直線的な衝撃を防ぐことで、直線的な衝撃により即死しないように防止する。ヘルメットの救命効果は実証されているが、人は、重度な障害を受ける。ヘルメットは、脳を守ることができない。つまり、脳を損傷するエネルギーは、ヘルメットが頭蓋上にある状態でも、脳が動くことにより生じるのである⁹。

これらの事象は、考えられる2例に過ぎず、衝撃の大きさの様々な程度により、他にも多くの事象がある。例えば、ヘルメットが硬すぎると、回転の終わりの時点での衝動が、回転の加速を増幅させる可能性がある。比較的軟らかいヘルメットでは、頭内部での回転の跳ね返りを制限すると思われるが、点負荷が生じる可能性があり、依然として、重大な損傷をきたすが、ここでは、回転の衝撃よりむしろ、直線的な衝撃によるものである。最初のシナリオでは、ヘルメットが軟らかすぎると、死という結果につながる可能性がある。

この MTBI 概論における最終段階として、このようなシナリオ、そして他のシナリオを考えていただきたい。より小さな衝動で生じ、そのため、損傷も比較的少数の、通常、回転中心からさらに遠い軸索に限られるシナリオである。より小規模の損傷では、MTBI が生じる可能性がある。より重大な脳損傷の閾値に対する基準はあるが、MTBI に対する基準はまだない^{10,11}。一部の MTBI は、頭部への衝撃が無くても生じることから、ヘルメットも、ひいては、マウスガードも、それらを予防できない。

損傷を予防する：

しかしながら、MTBI を防ぐため、講じることができる対策はある。適切なマウスガードで、MTBI を生じる可能性がある力をいくらか制限することが可能であるかがポイントである。上述の説明に基づき、可能性が、下顎に、そして下顎のみに起こった、あるいは、伝達された打撃に限定されることは明らかである。1) 下顎が固定されるように、上下の歯を嵌合させ、2) 適切な機械的特性を持

つ変形する材料で物理的なバリアを提供することで、上下の歯を分離し、そして、3) 装着が快適な装置であれば、下顎が、頭部への負荷の最初の負荷点である場合、衝撃を受けた頭部の加速が制限されるであろう。このような装置は、歯と下顎を保護し、頭部へ伝達される加速度を制限し、そのため、衝撃の衝動により生じる直線力と回転力を共に減少させるであろう。

これは良いことづくめであるが、特効薬でも簡単な方法でもない。そのような装置の機械的性質は、変形によって適切な時に最大偏位量に対して、装置が機能しうるもので、同時に、嵌合を維持し、変わらず快適でなければならない。これは、簡単なことではない。このような装置が必要に応じて機能するかを確認し、さらに、材料と空間の限界を鑑みて、機能の範囲を確認するため、様々な化合物や方法を試験する基準を開発する必要がある。しかしながら、この論文の著者は、実施中の試験に基づき、直接的であれ、チンキャップを介してであれ、相当な力の衝撃を受けた時、頭部加速度を、有益な程度に制限する装置が得られる、機械的特性のバランスがあると信じている⁵。このような装置が最適に機能するのは、変形可能な顔面防護システムやオトガイ固定システム等、入念に設計された特性を持つ、衝動インパルス制限する他の装置と併用し、調和して機能し、最も幅広く衝動インパルス制限し、一方で、頭部へ伝達される加速度が最小限となるシステムが得られる場合であろう。

結論：

そのような装置が実存するならば、MTBI を抑制するのに用いる道具箱の中で重要なものになるであろう。しかしながら、決定的な構成要素にはならないであろう。そのような装置が脳震盪を防ぐとする一般的な主張は、依然として根拠がなく、下顎が負荷点でない場合でさえ、装置は幾分機能するという主張はいずれも、博識な開業医は無視すべきである。

事実の開示：

Bite Tech Inc. は、過去に大学院生を支援したことがある。

References :

1. National Collegiate Athletic Association. 2008 NCAA® Football Rules and Interpretations. Indianapolis, IN: NCAA; 2008:32.
2. Knapik JJ, Marshall SW, Lee RB, et al. Mouthguards in sport activities: history, physical properties and injury prevention effectiveness. *Sports Med.* 2007;37(2):117-144.
3. Takeda T, Ishigami K, Hoshina S, et al. Can mouthguards prevent mandibular bone fractures and concussions? A laboratory study with an artificial skull model. *Dent Traumatol.* 2005;21(3):134-140.
4. Mihalik JP, McCaffrey MA, Rivera EM, et al. Effectiveness of mouthguards in reducing neurocognitive deficits following sports-related cerebral concussion. *DentTraumatol.* 2007;23(1):14-20.
5. Padgett K. Evaluation of Human Performance Characteristics and Peak Head Acceleration Through the Use of Protective Mouthguards [master' s thesis]. Knoxville, Tennessee: The University of Tennessee; 2005.
6. Brain-Pad Inc. Brain-Pad Protective Solutions Technology. http://www.brainpads.com/index.php?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=123. Accessed April 17, 2009.
7. Pro-Tekt Mouthguards. Mouthguard Facts. <http://www.protektmouthguards.com/mouthguardfacts.htm>. Accessed April 17, 2009.
8. Giza CC, Hovda DA. The neurometabolic cascade of concussion. *J Athl Train.* 2001;36(3):228-235.
9. Roy R. Evaluation of Head Linear and Rotational Acceleration Response to Various Linear-Induced Impact Scenarios [master' s thesis]. Knoxville, Tennessee: The University of Tennessee; 2007.
10. Pellman EJ, Viano DC, Withnall C, et al. Concussion in professional football: helmet testing to assess impact performance—part 11. *Neurosurgery.* 2006;58(1): 78-96.
11. Torg JS. *Athletic Injuries to the Head, Neck, and Face.* Philadelphia, PA: Lea & Febiger; 1982.

著者について :

P. D. Halstead

テネシー州、ノックスビル、テネシー大学、
スポーツ生体力学的影響研究所、所長

Director, Sports Biomechanics Impact Research Lab,
University of Tennessee, Knoxville Tennessee ;

テネシー州、ノックスビル、テネシー大学、
障害外傷予防工学研究所、研究責任者／科学者

Principal Investigator/Scientist, Engineering Institute for
Injury and Trauma Prevention, University of Tennessee,
Knoxville, Tennessee