

原 著

マイクロモーター用高速コントラアングルハンドピースによる
切削の人間工学的評価

福原 隆久¹⁾ 岩堀 正俊²⁾ 渡邊 諒²⁾ 山本 寛明²⁾
足立 ことの²⁾ 都尾 元宣²⁾ 山内 六男³⁾

Ergonomic evaluation of cutting with high speed contra-angle handpieces
for micromotors

FUKUHARA TAKAHISA¹⁾, IWAHORI MASATOSHI²⁾, WATAMABE RYO²⁾, YAMAMOTO HIROAKI²⁾,
ADACHI KOTONO²⁾, MIYAO MOTONOBU²⁾, YAMAUCHI MUTSUO³⁾

マイクロモーター用高速コントラアングルハンドピースによる切削に関して、切削時間、削除量、切削効率、切削時の手腕の筋活動、騒音、振動などの点で人間工学的にエアタービンハンドピースと比較検討した。得られた結果は以下の通りである。

1. 高速コントラアングルハンドピースによる切削時間、削除量および切削効率はエアタービンハンドピースのそれと差はなかった。
2. 高速コントラアングルハンドピースによる支台歯形成では、腕橈骨筋および尺側手根屈筋の筋活動はエアタービンハンドピースよりも大きかった。
3. 高速コントラアングルハンドピースはエアタービンハンドピースよりも大きな振動を示した。しかし、騒音は小さかった。

以上の結果から、高速コントラアングルハンドピースによる切削に関しては、エアタービンハンドピースに比べて長時間の切削では疲労を生じる可能性が示唆された。

キーワード：マイクロモーター用高速コントラアングルハンドピース、切削、筋活動、振動、騒音

Regarding cutting with a high-speed contra-angle handpiece, we ergonomically compared it with an air turbine handpiece in terms of cutting time, amount of reduction, cutting efficiency, muscle activity of the wrist during cutting, noise, vibration, and so on. The results obtained are as follows.

1. *The cutting time, removal amount and cutting efficiency of the high-speed contra-angle handpiece were not different from those of the air turbine handpiece.*
2. *In abutment tooth formation with a high-speed contra-angle handpiece, the muscle activity of the brachioradialis and flexor carpi ulnaris was greater than that of the air turbine handpiece.*
3. *The high-speed contra-angle handpiece vibrated more than the air turbine handpiece. However, the noise was low.*

From the above results, it was suggested that cutting with a high-speed contra-angle handpiece may cause fatigue when cutting for a long time compared to an air turbine handpiece.

Key words : high speed contra-angle handpieces for micromotors, cutting, muscle activity, vibration, noise

¹⁾ 京都府開業
〒614-8297 京都府八幡市欽明台西 31-8
²⁾ 朝日大学歯学部口腔機能修復学講座歯科補綴学分野
〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851
³⁾ 朝日大学
〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851
¹⁾ Ayumi Dental Clinic

31-8 Kinmeidainishi Yawata-city Kyoto Japan
²⁾ Department of Prosthodontics, Division of Oral Functional Sciences
and Rehabilitation, Asahi University School of Dentistry
1851 Hozumi Mizuho-city Gifu Japan 501-0296
³⁾ Asahi University
1851 Hozumi Mizuho-city Gifu Japan 501-0296
(2021 年 9 月 1 日受理)

緒 言

近年、歯の切削に対してエアタービンハンドピース以外にもマイクロモーター用高速コントラアングルハンドピースによる切削も行われるようになってきた¹⁻³⁾。この高速コントラアングルハンドピースは機械的に回転数を上げ毎分20万回転に増速することにより歯の切削を可能にしている。高速コントラアングルハンドピースによる切削と従来のエアタービンハンドピースによる切削の違いに関しては、いくつかの報告がなされている⁴⁻¹³⁾。すなわち、切削速度と荷重の関係には両者で違いがない⁴⁾、クラウンの形成で両者に差はない⁵⁾、高速コントラアングルハンドピースはエアタービンハンドピースよりも切削効率が良い⁶⁾、高速コントラアングルハンドピースを用いた場合にはカーバイドバーの切削効率はダイヤモンドポイントよりも高く高速コントラアングルハンドピースでのカーバイドバーの切削は大きなトルクによりエアタービンハンドピースよりも切削効率高い⁷⁾、窩洞形成の質には両者で差はない⁸⁾、切削時の振動には両者で差はない^{9, 10)}、歯およびアマルガムの切削ではエアタービンハンドピースより高速コントラアングルハンドピースで効率的であると感じる歯科医師が多い¹¹⁾、切削時のエナメル亀裂の発生や歯の温度上昇に両者で差がない¹²⁾などが報告されている。また、岡本ら¹³⁾は高速コントラアングルハンドピースに関して、切削荷重、切削面の表面性状、支台歯形成面の評価および切削感に関するアンケート調査などを行い、高速コントラアングルハンドピースの切削時の荷重はエアタービンハンドピースより大きいこと、支台歯形成面の表面粗さがわずかに増加するものの、うねりのない形成面を得やすく切削感もエアタービンハンドピースと比較して問題ないこと、また具体的記述では高速コントラアングルハンドピースの良い点として、切削しやすく形成面がきれい、トルクが大きい、音が小さいという意見が多くあったものの、逆に悪い点として、重たい、振動が大きいという声が聞かれたことなどを報告している。重たいあるいは振動が大きいということは、術者に疲労などの不快症状を招くことが考えられる。エアタービンハンドピースの切削時の騒音や振動についての報告¹⁴⁻¹⁸⁾はあるが、高速コントラアングルハンドピースによる切削時の騒音や振動についてはPooleら⁸⁾、高森ら⁹⁾の報告のみであり、かつ結果が異なっており、明確になっているとは言い難い。一方、エアタービンハンドピースを用いて歯を切削する場合には関連する手腕の筋が関与しているが、これに関してはKawamotoら¹⁹⁾の報告以外には

認められない。

そこで本研究では、歯科医師の立場から高速コントラアングルハンドピースによる切削に関して、切削効率、切削時の騒音、振動に加えて今まで検討されていない切削時の手腕の筋活動から多角的にエアタービンハンドピースによる切削と人間工学的に比較検討したので報告する。

材料および方法

実験には、高速コントラアングルハンドピースとしてIS-95（ナカニシ社、以下CA）およびエアタービン用エアベアリングタイプハンドピース（モリタ社製PAT-C-2-0、以下PT）を用いた。

1. 支台歯形成時間、削除量、切削効率

支台歯形成に要した時間を計測した。さらに支台歯形成前後の歯の重量を測定しその差を削除量とした。また、削除量を切削時間で除したものを切削効率とした。

支台歯形成は、朝日大学附属病院補綴科に勤務する臨床経験2年以下（以下B群）および10年以上（以下V群）の歯科医師各4名ずつ、合計8名に依頼した。咬合面以外にカリエスのない新鮮抜去小臼歯を被験歯とし、全部金属冠（全周シャンファー）2歯およびレジン前装冠（頬側ショルダー、舌側シャンファー）2歯の計4歯について支台歯形成を行わせた。切削には、形成用ダイヤモンドポイント（ジーシー社、スムースカット；K1, K2, B2, B3, P17）を用い、ポイントの選択、切削荷重および回転数は術者の自由としたが、ダイヤモンドポイントはすべて未使用のものを用いた。

2. 筋電図の測定

B群（臨床経験2年以下）とV群（臨床経験10年以上）の歯科医師それぞれ2名ずつに、学生実習用ファントム上で右側下顎第一大臼歯のエポキシ模型歯（ニッシン社、A5A-500）に対して全部金属冠の支台歯形成を連続で10本行わせ、軸面形成時および咬合面形成時の2姿勢について、腕橈骨筋および尺側手根屈筋の2筋の筋活動を、表面皿電極を用いて極間距離20mmで双極誘導した。

計測は、支台歯形成1本目、5本目および10本目の支台歯形成中の任意の30秒間行い、計測中は、支台歯形成を休止しないように指示した。導出した表面筋電図を時定数0.03ms、キャリブレーション200 μ V/10mmの条件で、生体用多用途監視記録装置（日本光電社、RM-6000）に入力し、支台歯形成と同時にデータレコーダー（TEAC社、XR510）に収録

した。そして収録した筋電図を多用途積分ユニット（日本光電社，E1-601G）に通し，全波整流・積分後に再生し，積分波形のリセット回数を数えることにより筋活動量を求めた。以上の分析は，30秒の計測時間の初めと終わりの5秒間を抜いた25秒間のデータについて行い，1秒あたりの筋活動量を算出した。

3. 切削時の振動

実験は，朝日大学附属病院補綴科に勤務する臨床経験5年以上の歯科医師4名の協力により行った。計測には加速度型振動検出器（日本光電社製MTピックアップ：MT-3T）を用いた。術者の右手第1背側骨間筋上にMT-3Tをテープで固定し，机の上に軽く右手を置きMT-3T上面が床と平行になるように保持させ計測した。

切削は形成用ダイヤモンドポイント（ジーシー社，スムースカットK1）を用い，エポキシ樹脂人工歯（ニッシン社，A5A-500）を左手で把持させ，右手はできるだけ動かさないように指示した。そして人工歯を頬舌軸方向に移動して切削するように指示した。

計測は，無負荷時，最大回転時および切削時について30秒間5回ずつ行った。

4. 切削時の回転数と振動

回転数・振動数測定器（Micron社製ハンドピースカウンター2：HPW-2）にて，切削器具の回転数を計測しながら毎分5万，10万，15万，20万（±1万回転）および最大回転となるように回転数を保持し実験3と同様の方法で振動を計測した。なお，PTの場合には40万回転についても計測した。計測は5回行った。

5. 騒音解析

切削器具のポイントの軸方向が鉛直になるように下方に向け，マイクロフォン（ソニー社，ECM-56A）は切削器具のヘッドの中心部と同一平面上で回転軸から30cmの位置になるようにそれぞれスタンドを用いて設置した。録音は最大回転時およびエポキシ樹脂人工歯形成時について行った。その際冷却水は噴射しないことにした。記録されたデータの任意の6カ所を抽出し，MacSpeech Lab II（GWI Instruments社）を用いパーソナルコンピュータ（Apple社，Macintosh Quadra800）のdisplay上で分析した。分析は周波数と音圧レベルについて行った。

6. 統計処理

得られたデータは統計ソフト（エスミ社，エクセル統計ソフト）を用いt-検定を行い，危険率5%を有意差ありと判定した。

結果

1. 切削時間，削除量および切削効率

切削時間は，CA：364.4sec，PT：367.9secと有意差はなかった（図1）。削除量もCA：0.36g，PT：0.36gで有意差はなかった（図2）。切削効率もCA：1.01mg/sec，PT：1.03mg/secで有意差はなかった（図3）。

B群とV群の比較では，切削時間がB群：377.0sec，V群：355.3secで，両群間に有意差はなかった（図4）。削除量はB群：0.35g，V群：0.36gで両群間に有意差はなかった（図5），切削効率はB群：1.00mg/sec，V群：1.05mg/secで両群間に有意差はなかった（図6）。

以上の結果から以下の実験では経験年数別での検討は行わなかった。

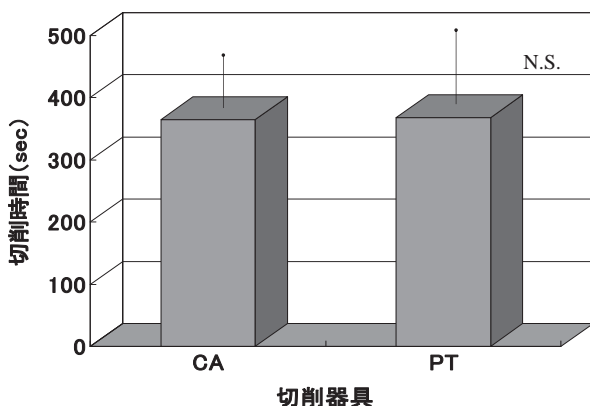


図1 切削器具別の切削時間

CA：364.4sec，PT：367.9secであり有意差はなかった。

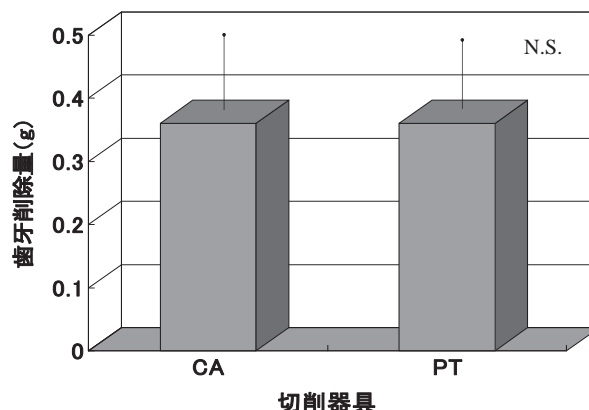


図2 切削器具別の削除量

CA：0.36g，PT：0.36gであり有意差はなかった。

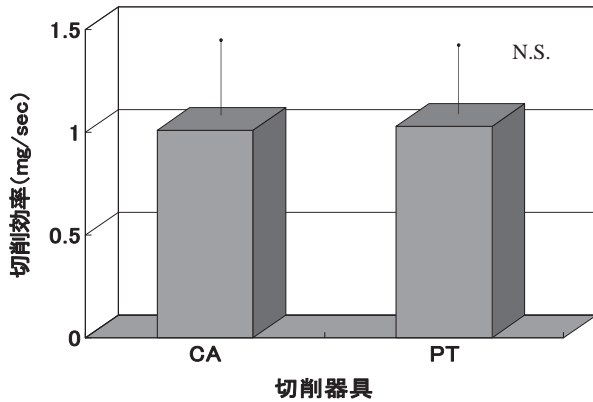


図3 切削器具別の切削効率

CA:1.01mg/sec, PT:1.03mg/sec であり有意差はなかった。

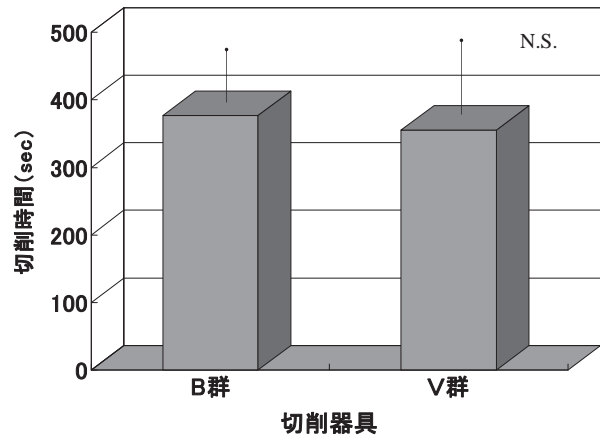


図4 臨床経験別の切削時間

B群:377.0sec, V群:355.3sec で, V群が有意に速かった。

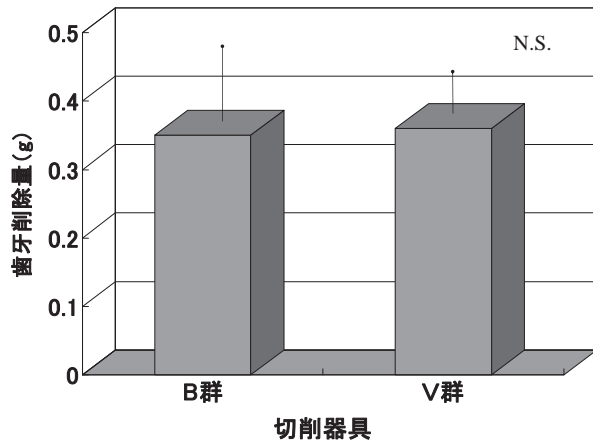


図5 臨床経験別の削除量

B群:0.35g, V群:0.36g であり, 有意差はなかった。

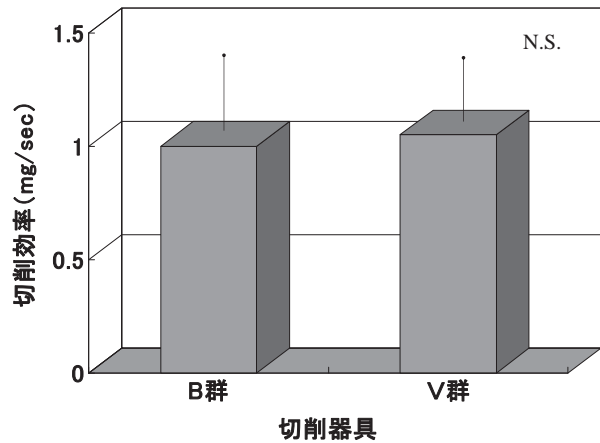


図6 臨床経験別の切削効率

B群:1.00mg/sec, V群:1.05mg/sec であり, 有意差はなかった。

2. 筋活動量

腕橈骨筋では、軸面形成および咬合面形成時ともに、CAはPTよりも大きな筋活動量を示し、1回および10回で有意差が認められた(図7, 8)。

尺側手根屈筋では、軸面形成および咬合面形成時ともに、CAはPTよりも大きな筋活動量を示し、5回および10回では有意差が認められた(図9, 10)。

3. 切削時の振動

無負荷時ではPTの振動数がわずかに大きかったものの、最大回転時および切削時にはCAが大きな振動を示した。特にCAの切削時には著明な振動を示した(図11)。

4. 切削時の回転数と振動

PTでは回転数が増加しても振動数は全く変化しな

かった。一方CAでは回転数が増加するにつれて振動数も増加し、最大回転時(21.5万回)では大きく増加した(図12)。

5. 騒音解析

フーリエ変換された波形の代表例を図13に示す。PTでは回転時は周波数5.4kHz、音圧85dB、形成時は4.8kHz、84dBおよび9.9kHz、79dBのピークが認められた。一方CAでは回転時2.6kHz、66dB、形成時3.1kHz、74dBのピークが認められた。

考 察

人間工学は、エルゴノミクス(Ergonomics)やヒューマンファクター(Human Factors)とも呼ばれており、働きやすい職場や生活しやすい環境を実現し、安全で使いやすい道具や機械をつくることに役立つ実践

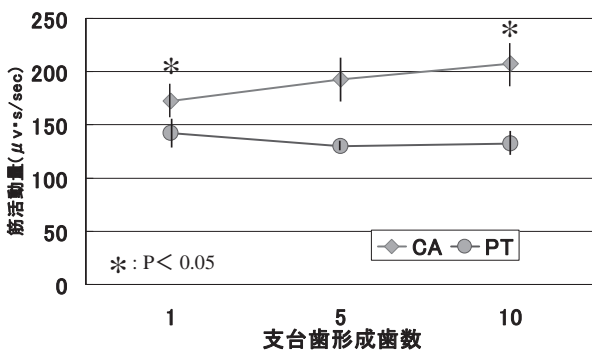


図7 軸面形成時の腕橈骨筋の筋活動量
CAはPTよりも大きな筋活動量を示し、1回目および10回目で有意差が認められた。

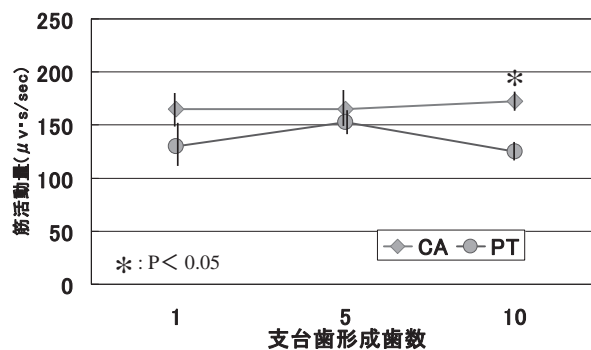


図8 咬合面形成時の腕橈骨筋の筋活動量
CAはPTよりも大きな筋活動量を示したが、10回目のみに有意差が認められた。

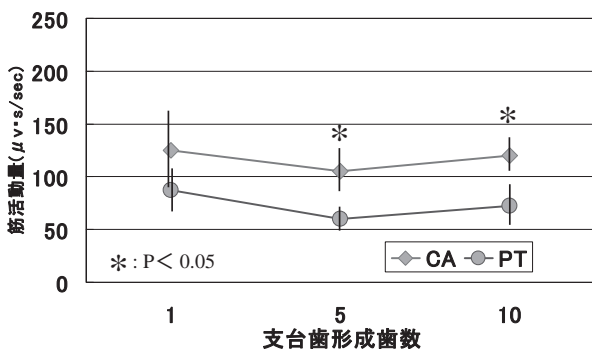


図9 軸面形成時の尺側手根屈筋の筋活動量
CAはPTよりも大きな筋活動量を示した、5回目および10回目で有意差が認められた。

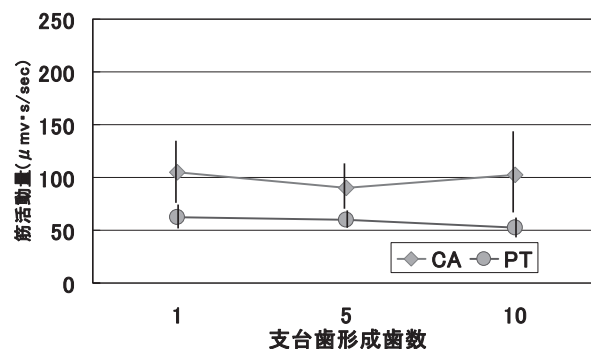


図10 咬合面形成時の尺側手根屈筋の筋活動量
CAはPTよりも大きな筋活動量を示したが、有意差はなかった。

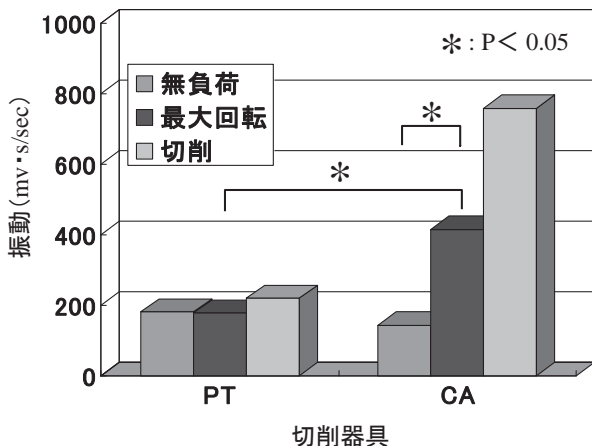


図11 切削器具別の振動
PTでは各条件で振動に有意差はなかったが、CAでは各条件で振動数に差があり、無負荷と最大回転時に有意があった。またCAはPTに比べて最大回転時および切削時に大きな振動を示し、最大回転時にのみ有意さが認められた。

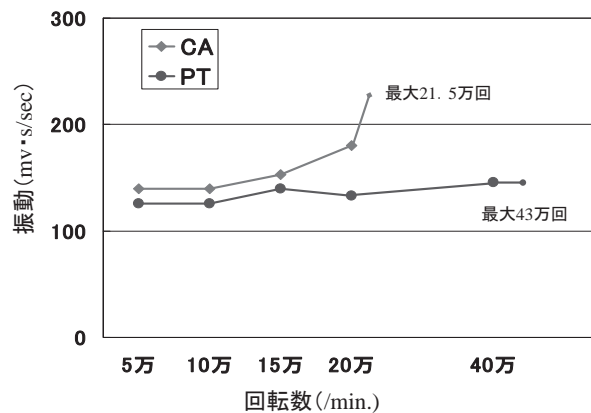


図12 回転の増加に伴う振動の変化
PTでは回転数が増加しても振動数は変化しなかったが、CAでは回転数が増加するにつれて振動数も増加し、最大回転時では最も大きく増加した。

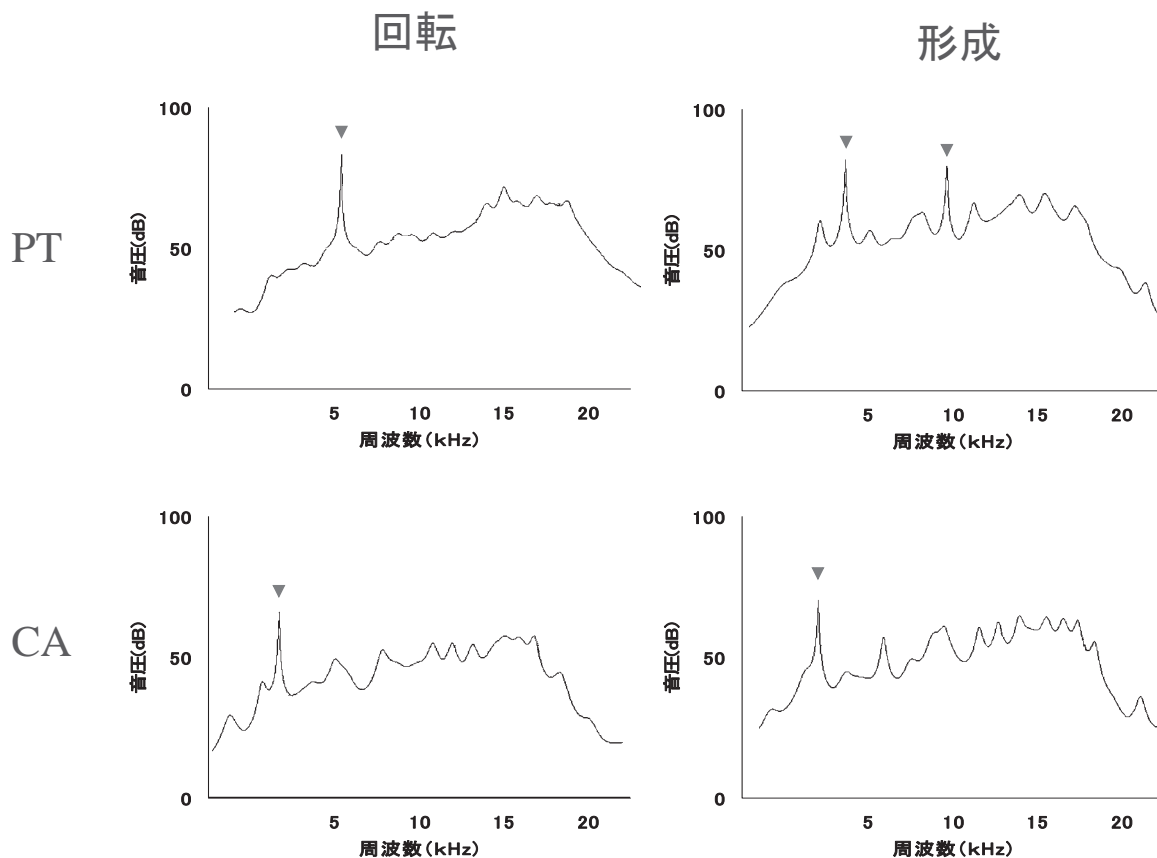


図 13 フーリエ変換後の騒音波形

PT では回転時は周波数 5.4kHz, 音圧 85dB, 形成時は 4.8kHz, 84dB および 9.9kHz, 79dB のピークが認められた. CA では回転時 2.6kHz, 66dB, 形成時 3.1kHz, 74dB のピークが認められた.

的な科学技術であるとされ, また, 国際人間工学連合によれば人間工学とは, システムにおける人間と他の要素とのインタラクションを理解するための科学的学問であり, 人間の安寧とシステムの総合的性能との最適化を図るため, 理論・原則・データ・設計方法を有効活用する独立した専門領域であるとされている²⁰⁾. 歯科領域においては主に診療姿勢や歯の切削時の姿勢などに関して以前から人間工学的な研究がなされている²¹⁾. 岡本ら¹³⁾によれば高速コントラアングルハンドピースの切削に関するアンケートでは振動や重量が問題として上げられており, 術者の気付かないうちに疲労などが生じていけば問題になることが考えられるが, 高速コントラアングルハンドピースの切削に関する基礎的な研究があるものの, この点に関して人間工学的に検討した報告はない. そこで本研究では, 最近歯の切削に用いられている高速コントラアングルハンドピースの使用に関して人間工学的に検討を加えた.

これまでの高速コントラアングルハンドピースによる切削効率に関する基礎実験では, 切削方法, 切削長

さ, ダイヤモンドポイントの砥粒の大きさ, 荷重, 注水量などが関係することが報告されている⁴⁾. また, ダイヤモンドポイントの使用回数によっても切削効率は影響を受けることも報告されている⁵⁾. 本実験のようなヒトによる切削試験においては荷重や切削方法などを統一することは難しいことから, 本実験では支台歯形態のみ指示し, 形成は歯科医師に任せ, ダイヤモンドポイントの使用回数による影響を避けるためのダイヤモンドポイントは試験毎に取替えた.

手腕の動作解析には, MRI や 3D-CT を用いた画像解析による分析^{22, 23)}, マーカー貼付や超音波による三次元動作解析装置による分析^{24, 25)}, 筋電図を用いた分析^{26, 27)}などが行われている. この中で筋電図学的な研究は表面電極の貼付だけであり, 正確性はやや劣るものの手に関連する動きを簡便に検討するには適していると考えられる. 歯科領域では歯科用タービンのグリップに関する筋電図学的検討¹⁹⁾やスケーラーやデンタルミラー把持動作における筋活動²⁸⁻³²⁾などが報告されているが, 高速コントラアングルハンド

ピースでの検討はないことから、本研究では切削時の腕橈骨筋、尺側手根屈筋の筋活動から解析を行った。Kawamotoら¹⁹⁾、麻賀ら²⁹⁾、Dongら³⁰⁾は浅指屈筋、短母指屈筋など指の筋肉を測定対象とし、Suedbeckら²⁸⁾、Simmer-Beckら³¹⁾、Dongら³²⁾は腕橈骨筋、尺側手根屈筋などの前腕の筋を測定対象にしている。スケーラーでは力を入れて把持するのではなく、ハンドピースでは軽く握りフェザータッチで形成を行うことから、本研究ではハンドピースの空間保持あるいは回転に関与すると考えられる腕橈骨筋、尺側手根屈筋を測定対象とした。

エアタービンが発生する騒音や振動は患者ばかりではなく歯科医師にも不快感を与える可能性が示唆されている³³⁾。エアタービンハンドピースに関しては従来から報告¹⁴⁻¹⁸⁾があるものの、マイクロモーターに関しては技工操作時の振動解析³⁴⁾があるが、高速コントラアングルハンドピースに関してはPooleら⁹⁾、高森ら¹⁰⁾の報告があるのみである。しかし、この報告では歯に生じる振動解析であり、術者の手指における振動解析ではない。本研究では、加速度計を手手に貼付し、手に伝わる振動を直接解析した。

岡本ら¹³⁾の報告から、PTは200g以上の荷重では回転が停止し、形成不可能になってしまうのに対し、CAはトルクが大きく500gの荷重でも形成でき、しかも切削性も回転に比例して増加することがわかっている。しかし今回の結果から、ハンドピースの種類や経験年数による切削時間、削除量および切削効率に差はみられなかった。このことから術者は、CAにおいてもPTと同様にフェザータッチで支台歯形成を行っていることを示唆しているものと思われる。また、岡本らのアンケート結果で「切削しやすく形成面がきれい」という声が聞かれたが、これはPTでの形成時にはトルクをかけすぎるとバーが停止してしまい形成しづらくなるというような状況においても、CAでは停止することなく荷重の変化に対応した支台歯形成ができるという利点を反映しているものと思われる。切削荷重を増加させると被削面の表面粗さが増加する可能性がある¹²⁾という点を考えれば、CAにおいても通常はフェザータッチでの支台歯形成が推奨される。

腕橈骨筋、尺側手根屈筋ともに軸面形成および咬合面形成時に、CAはPTよりも大きな筋活動量を示し、また、1秒あたりの筋活動量は、腕橈骨筋および尺側手根屈筋ともにCAはPTよりも大きかった。岡本らのアンケート結果で「重い、振動が大きい」という声が聞かれたが、把握動作には物体重量が影響する³⁵⁾といわれていることから、各切削器具の重量を計測したところCA約65g、PT約56gで約9gの差があり、

長さではCA9.4cm、PT11.5cmであり、CAの方が重く短い。このわずかな違いでも高速コントラアングルハンドピースの重心にも現れて実際よりも重く感じ、ハンドピースを持つのに無意識に力をかけ、CAの筋活動量を増加させているのではないかと考えられた。

最大回転時および切削時にはCAが大きな振動を示した。特にCAの切削時には著明な振動を示した。高森ら¹⁰⁾も測定方法が異なるものの高速コントラアングルハンドピースの振動速度には有意差はないがエアタービンに比べて小さいことを報告しており、同様の結果となった。CAはトルクが大きいため本実験においても切削時にはかなり大きな荷重をかけることができた。それが振動の増加に反映したのと思われる。PTでは回転数が増加しても振動数はまったく変化しなかった。一方CAでは回転数が増加するにつれて振動数も増加し、最大回転時(21.5万回)では大きく増加した。PTは摩擦抵抗が小さく回転が増加してもほぼ無負荷であるのに対し、モーターで回転を制御しているCAは、回転数の増加とともに負荷も増加する。それが振動となって現れていると考えられる。大きな振動は切削器具を強く握る引き金になっている可能性があり、その結果CAの筋活動がPTよりも大きくなったと考えられる。

これまでのエアタービンハンドピースから発生する騒音の分析では、周波数では5700Hz、6700Hz、5～7.5kHz、などにピークが観察されており¹⁴⁻¹⁸⁾、本研究ではPTで4.8kHzにピークがみられており、同様の結果といえる。CAでは2.6kHzあるいは3.1kHzに周波数ピークがみられており、PTに比べて周波数ピークが低いことが明らかとなった。Pooleら⁹⁾はレーザー変位計で高速マイクロモーターハンドピース2機種を解析しており、3.45kHzと3.09kHzにピークがみられたと報告している。この結果はピークが1つと2つの違いはあるがほぼ類似した結果といえる。しかし高森ら¹⁰⁾は0.6～0.7Hz、3～3.5Hz、6～7Hzの3つのピークがみられたと報告しているが、人工歯根膜を付与した天然歯の植立模型で切削し天然歯の周波数解析を行っているため、人工歯根膜によるダンピング効果により低周波および高周波のピークが生じた可能性があるものの、それ以外はタービンハンドピースよりも低い類似した領域の周波数ピークが観察されている。一方、音圧レベルに関してはエアタービンではおおむね80dBと報告されている¹⁸⁾。今回の実験でもPTで最大85dBと類似した音圧レベルを呈していた。これに対してCAでは最大74dBと低い音圧レベルであることが判明した。エアタービンハンドピースでは動力発生源であるタービン翼¹⁷⁾により

騒音が発生するためであり、タービン翼のないマイクロモーターハンドピースで低いのは当然の結果ともいえる。タービン音の歯科医師の聴覚障害への影響という観点から、周波数、音圧ともに高い方が聴覚障害を起こしやすい可能性が高い³⁶⁾。CAの周波数はPTよりも低く、騒音に関しても低いことから、CAの方がPTよりも耳に優しいといえる。ただし形成時の音圧74dBは聴覚障害を起こす境界域85dB³⁷⁾に近いことや、敏感な耳を持つ歯科医師ではエアタービンの使用により聴力損失がみられるかもしれないとの報告¹⁸⁾があることから、まったく安全とはいえないかもしれない。

以上、今回の人間工学的な研究結果から高速コントラアングルハンドピースによる切削に関しては疲労の観点からエアタービンハンドピースに比べて長時間の切削は避けたほうが良いことが示唆された。支台歯形成に際してはエアタービンハンドピースにて概形成を行い、マージン部を含めて仕上げ形成に高速コントラアングルハンドピースを用いるなどの方法の実践が推奨される。

結 論

高速コントラアングルハンドピースによる切削に関して、切削時間、削除量、切削効率、切削時の手腕の筋活動、騒音、振動などの点で人間工学的にエアタービンハンドピースと比較検討したところ、以下の結果を得た。

1. 高速コントラアングルハンドピースによる切削時間、削除量および切削効率はエアタービンハンドピースのそれと差はなかった。
2. 高速コントラアングルハンドピースによる支台歯形成では、腕橈骨筋および尺側手根屈筋の筋活動はエアタービンハンドピースよりも大きかった。
3. 高速コントラアングルハンドピースはエアタービンハンドピースよりも大きな振動を示したが、騒音は小さかった。

以上の結果から、高速コントラアングルハンドピースによる切削に関してはエアタービンハンドピースに比べて長時間の切削では疲労を生じる可能性が示唆された。

文 献

- 1) 楠高伸. マイクロモーターに接続した増速FGコントラを使用した有髄歯の支台歯形成と麻酔. 顎咬合誌. 1995; 16: 155-158.
- 2) 内山洋一. エアタービンと電気エンジン(マイクロモーター)の比較. DE. 1997; 123: 1-4.
- 3) 小嶋寿. マイクロモーターによる歯質切削. DE.

- 1997; 123: 13-16.
- 4) Funkenbusch PD, Rotella M, Chochlidakis K, Ercoli C. Multivariate evaluation of the cutting performance of rotary instruments with electric and air-turbine handpieces. J Prosthet Dent. 2016; 116 (4): 558-563. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.03.002. Epub 2016 May 5.
- 5) Rotella M, Ercoli C, Funkenbusch PD, Russell S, Feng C. Performance of single-use and multiuse diamond rotary cutting instruments with turbine and electric handpieces. J Prosthet Dent. 2014; 111 (1): 56-63. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.06.003. Epub 2013 Nov 15.
- 6) Choi C, Driscoll CF, Romberg E. Comparison of cutting efficiencies between electric and air-turbine dental handpieces. J Prosthet Dent. 2010; 103 (2): 101-7. doi: 10.1016/S0022-3913 (10) 60013-3.
- 7) Ercoli C, Rotella M, Funkenbusch PD, Russell S, Feng C. In vitro comparison of the cutting efficiency and temperature production of ten different rotary cutting instruments. Part II: electric handpiece and comparison with turbine. J Prosthet Dent. 2009; 101: 319-331.
- 8) Kenyon BJ, Van Zyl I, Louie KG. Comparison of cavity preparation quality using an electric motor handpiece and an air turbine dental handpiece. J Am Dent Assoc 2005; 136: 1101-5.
- 9) Poole RL, Lea SC, Dyson JE, Shortall AC, Walmsley AD. Vibration characteristics of dental high-speed turbines and speed-increasing handpieces. J Dent. 2008; 36 (7): 488-93. doi: 10.1016/j.jdent.2008.03.006. Epub 2008 May 12.
- 10) 高森一乗, 古川裕彦, 上田智章, 根本正宏, 渡部茂. 硬組織切削振動と疼痛との関係についての基礎研究(第2報) 高速回転切削により生じる振動について. 日歯保誌. 2002; 45: 716-722.
- 11) Eikenberg SL. Comparison of the cutting efficiencies of electric motor and air turbine dental handpieces. Gen Dent. 2001; 49 (2): 199-204.
- 12) Watson TF, Flanagan D, Stone DG. High and low torque handpieces: cutting dynamics, enamel cracking and tooth temperature. Br Dent J. 2000. 24; 188 (12): 680-6.
- 13) 岡本武志, 岩堀正俊, 石田勝重, 山内六男. マイクロモーター用高速コントラアングルによる切削. 岐歯学誌. 2010; 36: 145-154.
- 14) 川原大, 福森暁. 患者専用エアタービンハンドピースの歯質切削能と音響特性について. J Cosmetic Oral Care. 2015; 14: 8-13.
- 15) Altinoez H C, Ramiz G, Aydin B, Sema B. A pilot study of measurement of the frequency of sounds emitted by high-speed dental air turbines. J Oral Sci. 2001; 43: 189-192.
- 16) Sohmura T, Ikuta K, Matsuda K, Kawai K, Takahashi

- J. An attempt to reduce discomfort from high frequency noises in the air turbine handpiece, Bull Kanagawa Dent Col, 1998; 26: 83-91.
- 17) 野村寿男, 伊藤正明, 内田昌治, 矢島芳明, 鷹股哲也. 歯科用エアタービン・ハンドピースの静音設計に関する検討 (第1報) 異なる形態のタービン翼の騒音測定と評価方法について. 松本歯学. 1998; 24: 58-71.
 - 18) 笠井岳. 歯科用エアタービンハンドピースから発生する騒音の高周波成分. 日大口腔科学. 1994; 20: 129-141.
 - 19) Kawamoto A, Yoshikawa Y, Takeyama A, Umeyama Y, Katayama N, Kamada A, Okazaki J, Ikeo T, Komasa Y. Development of ergonomic grips for dental turbines. 日顎頭蓋誌. 2010; 23: 1-6.
 - 20) 一般社団法人日本人間工学会ホームページより (アクセス日 2021年3月3日)
 - 21) 芝原健夫. 特集・医療における人間工学 歯科医療の人間工学的考察. 人間工学. 1979; 15: 145-153.
 - 22) 杉田魁人, 坂本信, 森清友亮, 風間清子, 小林公一, 田邊裕治. 核磁気共鳴画像法を用いた母指指節間関節および中手指節間関節の三次元生体内接触運動解析. 臨床バイオメカニクス. 2018; 39: 237-246.
 - 23) 高井宏明. 3D-CTを用いた第5手根中手関節の3次元動作解析. 中部整災誌. 2014; 57: 1227-1228.
 - 24) 酒井直隆, 腰野富久, Fong-Chin Su, Michael C Liu, Allen T Bishop, Kai-Nan An. 反射性マーカーのビデオ画像による手の巧緻動作の解析. 日臨バイオメカ会誌. 1995; 16: 25-29.
 - 25) 徳永進, 小谷俊明, 高橋和久, 守屋秀繁, 玉木保, 六角智之, 齊藤忍. 超音波式三次元動作解析装置を用いた指運動の解析. 日臨バイオメカ会誌. 2002; 23: 411-415.
 - 26) 石田裕二, 藤原孝之, 藤本哲也, 山本巖. 箸動作における筋活動の分析. 総合リハ. 2006; 34: 379-383.
 - 27) 江渡文, 村田伸, 甲斐義浩, 政所和也. 把握動作における手指屈筋と手関節掌屈・背屈筋の筋活動の特徴. 総合リハ. 2012; 40: 383-387.
 - 28) Suedbeck JR, Tolle SL, McCombs G, Walker ML, Russell DM. Effects of instrument handle design on dental hygienists' forearm muscle activity during scaling. J Dent Hyg. 2017; 91: 47-54
 - 29) 麻賀多美代, 麻生智子, 鈴鹿祐子, 山中紗都, 吉田直美, 日下和代, 酒巻裕之, 大川由一. 筆記具・スクレーラーの把持動作における筋活動の関連. 日歯衛教会誌. 2016; 7: 97-102.
 - 30) Dong H, Loomer P, Barr A, LaRoche C Young E, Rempel D. The effect of tool handle shape on hand muscle load and pinch force in a simulated dental scaling task. Appl Ergon. 2007; 38: 525-531.
 - 31) Simmer-Beck M, Bray KK, Branson B, Glaros A, Weeks J. Comparison of muscle activity associated with structural differences in dental hygiene mirrors. J Dent Hyg. 2006; 80: 1-16.
 - 32) Dong H, Barr A, Loomer P, Rempel D. The effects of finger rest positions on hand muscle load and pinch force in simulated dental hygiene work. J Dent Educ. 2005; 69: 453-460.
 - 33) 出崎義規. エアタービン音に対する術者と患者の生体反応. 愛院大歯誌. 1998; 36: 135-144.
 - 34) 林頼雄, 小林博. 回転切削機器による技工操作時における局所振動伝搬の加速度計による評価. 日補綴会誌. 2013; 5: 47-55.
 - 35) 大堀具視, 中村真理子, 石澤光郎. 把握動作に与える動作課題と物体重量の影響. 作業療法. 2007; 26: 282-290.
 - 36) Council on dental materials and devices: noise control in the dental operator. J Am Dent Assoc. 1974; 89: 1384-1385.
 - 37) 調所廣之. 聴覚に関わる社会医学的諸問題「労働環境騒音に対する聴覚保護と対策」. Audiol Jpn. 2012; 55: 165-174.