

Influence of posterior dental arch length on brain activity during chewing in patients with mandibular distal extension removable partial dentures.

臼歯部の歯列の長さが下顎遊離端義歯患者の咀嚼時の脳活動に及ぼす影響
庄井和人, 笛木賢治, 白井信男, 泰羅雅登, 若林則幸

要旨

短縮歯列が咀嚼能力を低下させることは明らかになっている。しかしながら咀嚼時の脳活動が変化するかは不明である。本研究では短縮歯列に下顎遊離端義歯 (RPD) を装着し、ガム咀嚼を行った際の脳活動への影響を明らかにした。11 人の下顎臼歯部を喪失した被験者 (平均年齢 66.1 歳) に人工歯を可変 (除去・追加) できる両側の実験義歯を装着し、クロスオーバーデザインで実験を行った。通常歯列 (FDA) / 短縮歯列 (SDA) の義歯装着時での、ガム咀嚼時の脳活動の測定は機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を用いた。加えて各歯列条件での咀嚼能力も評価した。食品粉碎能力、混合能力、主観的咀嚼能力は通常歯列義歯装着者に比べ、短縮歯列義歯装着者の方が有意に低かった ($P < 0.05$)。通常歯列義歯装着時でのガム咀嚼時の脳活動は、中前頭回、中心前回を中心に広がる一次感覚運動野、補足運動野、被殻、島皮質、小脳にみられた。しかしながら中前頭回の活動は短縮歯列義歯装着者のガム咀嚼時にはみられなかった。これらの結果から短縮歯列が、ガム咀嚼時のヒトの中前頭回における脳活動に影響を与えることが示唆され、中前頭回の活動の減少は咀嚼能力の減少にも関連していると考えられた。

緒言

歯列の長さと咀嚼能力との関連はよく知られている。短縮歯列 (SDA) が咀嚼能力を低下させることは明らかになっている。可徹性部分床義歯 (RPD) により喪失した臼歯部を補綴した先行研究でも、人工歯の長さと咀嚼能力との関連が示されている。

咀嚼においては末梢器官と中枢神経系 (CNS) との相互作用が重要である。そのため歯の喪失や補綴治療といった末梢の変化は、中枢神経系の活動にも影響を与えられ。動物実験では抜歯により体性感覚野と運動野に変化が生じることが明らかになっている。近年脳機能イメージング法の普及により、ヒトにおいて認知/運動課題中の脳活動を調べることが可能になり、咀嚼時の脳活動についての研究も多数行われている。部分歯列欠損患者において義歯装着時と非装着時の咀嚼時の脳活動が異なることや、総義歯装着者における咀嚼時の脳活動が、インプラント埋入後に変化することなどが分かっている。これらのサンプルサイズは小さいが、補綴治療後の口腔内の変化が咀嚼時の脳活動に影響を与えることを示唆している。最近の fMRI 研究では、総義歯患者において新義歯装着後、クレンチング時の脳活動が経時的に変化することが明らかになっている。そこで本研究では、大臼歯部の喪失は咀嚼能力だけでなく咀嚼時の脳活動にも影響を与えると仮説を立て、

実験義歯を装着してガム咀嚼を行った際の脳活動の変化を明らかにすることにした。先行研究ではガム咀嚼時、一次体性感覚野、一次運動野、補足運動野、前運動野、前頭前野、下頭頂小葉、島皮質、視床、大脳基底核、小脳が活動すると報告されている。これより我々は、SDA がこの領域の活動に影響を与え、特に咀嚼能力の低下に関連し一次感覚運動野の活動が低下すると仮説を立てた。

方法

被験者

下顎に第一大臼歯を含む両側遊離端欠損を有し（平均欠損歯数：左側 3.09 本，右側 3.36 本），両側遊離端義歯を使用している 11 名（男性 1 人女性 10 人，平均年齢 66.1 ± 8.9 歳）が研究に参加した。習慣性咀嚼側は 6 人が左側で，5 人が右側であった。上顎に義歯を装着している者，上顎に補綴されていない第一大臼歯の欠損をもつ者は対象から除外した。顎関節症状がある者，精神疾患の既往のある者も除外とした。

実験手順

研究には実験義歯を用いた。実験義歯は両側の最後方歯にレスト・維持装置を設け，大連結子としてリングルバー，義歯床はアクリルレジンをを用いた。両側の人工歯は義歯床から可変（除去・追加）できるようにした。人工歯を追加した状態を通常歯列（FDA），除去した状態を短縮歯列（SDA）とした。被験者は FDA と SDA の義歯を各々 2 週間装着した後，行動学的評価と脳活動の評価を行なった（fig1）。FDA と SDA の装着順はランダムとした。

行動学的評価

食品粉碎能力試験は篩分法を用いた。被験者は 3g のピーナッツを 20 ストローク自由咀嚼した。Median particle size(X_{50})は非線形回帰曲線から計算し，食品粉碎能力の指標とした。

食品混合能力は色変わりガムを被験食品に用いた。被験者はガムを左右各側および自由側で 60 回咬んだ。ガムの色は colourimeter を用いて通法通り測定した。

主観的咀嚼能力は 100mmVAS scale を用いた。VAS の左端が「全く咬めない」，右端が「とてもよく咬める」とした。被験者は各歯列における主観的咀嚼能力を VAS で表した。

FDA と SDA での X_{50} ， ΔE ，VAS スコアの統計比較は Wilcoxon の signed rank test を用いた。P<0.05 を統計的に有意とした。

脳活動評価

タスク：被験者は，左側ガム咀嚼課題，右側ガム咀嚼課題，空咀嚼課題（口腔内にガムを入れずに行う，上下歯列を接触させない咀嚼様運動）の 3 課題を行なった。誤飲防止の

ため片側ガム咀嚼課題を用いた。ガムは咀嚼課題で用いた色変わりガムと近似した硬さの無味無臭のガムを用いた。計測は安静状態 18 秒の後に、課題 18 秒と安静状態 18 秒を交互に 5 回繰り返すことを 1 セッションとするブロックデザインで行なった。1 セッション内に 3 課題のうちいずれか 1 課題を行い、セッションの実施順序はランダムとした。

f MRI 測定・解析：撮像は 1.5 テスラ MRI 装置を用いて、gradient-echo echo-planner imaging 法で行なった。画像解析は脳機能画像解析ソフトウェア SPM5 を用いた。得られた機能画像に前処理を行なった後、各タスクでのコントラスト画像を作成した。この過程で、左側咀嚼課題と右側咀嚼課題は平均化し咀嚼課題とした。そして歯列条件別に安静時よりも脳活動の高い領域を検出した。各条件別（課題間・歯列条件間）の脳活動を比較するために、脳活動の差分を解析した (Table1)。

結果

咀嚼能力

SDA での X_{50} は FDA に比べて高く（粉砕能力が低い）、 $\angle E$ は FDA に比べて低かった（混合能力が低い）。SDA の VAS スコアは FDA に比べて低かった（主観的咀嚼能力が低い）。全ての咀嚼において、SDA と FDA での $X_{50} \cdot \angle E \cdot VAS$ スコアに有意差が認められた。

ガム咀嚼時の脳活動 (fig2)

FDA・SDA の条件共に、中心前回を中心に広がる両側の一次感覚運動野に有意な活動が見られた。両側の小脳と上前頭回においても有意な活動が認められた。上前頭回の活動は補足運動野に位置していた。また両側の中前頭回の有意な活動は、FDA においてのみ認められた。

空咀嚼時の脳活動 (fig3)

FDA・SDA の条件共に、両側の一次感覚運動野と中前頭回に有意な活動が見られた。上前頭回の活動は補足運動野に位置していた。SDA はそれに加えて、両側の島皮質と小脳でも有意な活動が認められた。

課題間の脳活動の比較 (fig4, Table3)

ガム咀嚼時に空咀嚼時よりも有意に高い脳活動を示した領域は、FDA では両側の中前頭回、左側の中心前回、左側の被殻および島皮質に活動が認められた。右側の中心前回と両側の小脳にも活動が見られた (fig4, Table3)。SDA では、右側の中心前回、被殻、島皮質に活動が認められた。左側の中心前回、右側の小脳にも活動が見られた。空咀嚼時にガム咀嚼時よりも有意に高い脳活動を示した領域は認められなかった。

歯列条件による脳活動の比較 (fig5a, Table4)

FDAとSDAで脳活動に有意差のある領域を課題別に求めたところ、ガム咀嚼時にはFDAの両側内側前頭回と中前頭回の活動が、SDAに比べて有意に高かった(fig5a, Table4)。SDAがFDAに比べて有意に高い活動を示した領域は認められず、空咀嚼時における各条件での脳活動の有意差は認められなかった。

歯列条件による、課題特有の脳活動の比較 (fig5b, Table4)

FDAにおいてガム咀嚼時に空咀嚼時よりも有意に高く活動した領域と、SDAにおいてガム咀嚼時に空咀嚼時よりも有意に高く活動した領域の差分を求めると、FDAの右側の中前頭回の活動がSDAよりも高いことが明らかになった (fig5b, Table4)。

考察

大臼歯部の補綴が咀嚼能力の回復に重要であることはすでに示されているが、中枢の変化にどう影響するかはよく知られていない。したがって我々は臼歯部の有無がガム咀嚼時の脳活動の変化にどう影響するかを、実験義歯を用いて明らかにした。行動学的評価では先行研究と同様に、大臼歯部の人工歯を除去すると客観的咀嚼能力と主観的咀嚼能力が共に減少した。それに加えFDAに比べSDAにおいて、ガム咀嚼時に内側および中前頭回の活動が有意に減少した。この結果は、大臼歯部の喪失が咀嚼時の脳活動に影響を与えるという我々の仮説を裏付けている。つまり中前頭回の活動の減少が、大臼歯部の咬合の消失による客観的および主観的咀嚼能力の低下に関連している、と考えられる。

ガム咀嚼に特有の活動を調べることを目的として、ガム咀嚼時に空咀嚼時よりも脳活動が上昇した領域を調べた。両課題とも下顎の開閉口運動を伴うが、口腔内からの感覚刺激は咀嚼課題でのみ得られると考えられる。末梢での感覚情報の入力、中枢パターン発生器や大脳皮質の運動関連領域へと、感覚フィードバック情報として送られる。この感覚フィードバック情報により、リズムカルな咀嚼運動パターンが維持され、咀嚼運動が適切に調節される。したがってガム咀嚼時に空咀嚼時よりも活動の上昇が見られた領域は、咀嚼に特有な感覚入力や感覚フィードバックに関連すると考えられる。本研究で有意な活動が見られた中前頭回は、感覚連合野と運動関連領域の双方と強く機能的に結びついており、感覚情報に基づいた運動調節に重要な役割を果たしていると考えられる。SDAに比べFDAで高い粉碎能力や混合能力を得ていることは、人工歯で適切な咀嚼運動ができていることを示している。この咀嚼運動には舌・頬・顎の高度な協調運動を含む、複雑な運動制御が必要と考えられる。またそうした運動には舌・頬・顎堤粘膜の感覚フィードバックが必要と考えられる。したがって中前頭回の活動は、この感覚フィードバックと協調運動を反映していると示唆されるが、今後もさらなる研究が必要である。

歯列の条件に関わらず、被殻と島皮質においてガム咀嚼でのみ活動が認められた。違う半球で活動してはいたものの、被殻と島皮質の活動は咀嚼特有のプロセスに関連している。

被殻は中前頭回と機能的に強い結びつきがあり、自発的運動の調整に重要な役割を果たしていると考えられている。動物実験でも咀嚼運動中に被殻の活動が認められ、咀嚼に特有な運動の調整に関わっている可能性がある。島皮質は口腔内に対する感覚刺激と関連した活動を示すことが分かっており、ガム咀嚼時の島皮質の活動は口腔内の刺激によって起こったと考えられる。中心前回のうち活動が見られた領域は、開閉口運動に伴って活動を示す皮質咀嚼野と考えられた。この領域の活動はガム咀嚼から空咀嚼を引いた差分でも有意となっており、ガム咀嚼では空咀嚼に比べてより多くの筋を動員したためと推察される。小脳の活動もガム咀嚼から空咀嚼を引いた差分で有意になっており、同じことが推察される。

補足運動野と一次感覚運動野は、両課題で歯列の条件に関係なく活動を示した。補足運動野は複雑な動きの計画・準備・実行に関連していると考えられており、一次感覚運動野の活動は運動遂行には必須である。本研究では歯列の条件により一次感覚運動野の活動に変化が生じると予想していたが、統計的な有意差は認められなかった。今回被験者数が少数であったため、統計的に有意にならなかった可能性が考えられた。

本研究では fMRI 測定を仰向けという不自然な状態で行なったため、脳活動に影響を与えた可能性がある。EPI 法における義歯用合金のアーチファクトの影響については、ファントムを用いた予備実験にて、脳活動に影響のない範囲であることを明らかにした。今回被験者は十分義歯に適応している者を対象としたが、義歯の経験年数にはかなり幅があった（1 ヶ月～8 年）。義歯の使用による脳活動における適応も先行研究で報告があり、義歯の経験年数も実験義歯装着後の脳活動に影響を与えた可能性がある。また義歯装着者の客観的・主観的咀嚼能力において性差が報告されており、本研究での男女比が咀嚼時の脳活動のバイアスとなる可能性がある。