

Comparison of cerebral activation involved in oral and manual stereognosis

(口腔と手における立体認知時の脳活動の比較)

学位論文内容の要旨

近年、咀嚼と脳活動との関連を明らかにする試みが盛んに行われるようになり、ガム咀嚼時や、下顎運動時、あるいは舌運動時の脳活動領域に関する研究成果が多数報告されるようになってきた。これは超高齢化社会を迎えた現在、摂食、咀嚼を通じて高齢者の脳活動を活性化することの重要性が認識されつつあるからである。

立体認知能力とは視覚器や聴覚器の情報なしに物体の三次元的形状を認識する能力である。このような体性感覚情報は脳皮質の一次体性感覚野に送られた後、他の脳皮質領域に送られ、これらが統合されることによって立体認知が成立すると考えられている。

我々は、摂食嚥下の過程において、摂取した食物を細かく噛み砕き、唾液と混ぜ合わせるにより食塊を形成する。適度な大きさや物性になった食塊を、舌によって咽頭へ送り込み嚥下を行う。この過程において口腔内では常に食片の大きさ、性状、さらには位置などが認識され、それを基に食片の弁別がなされており、これは口腔粘膜、舌、歯根膜などの感覚受容器や筋紡錘、腱紡錘などの深部感覚受容器からの情報を活用して行われ、咀嚼の過程で欠かすことのできない能力であると言える。このように口腔立体認知能力は日常生活において必要不可欠な能力であるが、多くの要因が関係していると考えられている。

当教室ではこれまでに口腔立体認知に伴って生じる脳皮質活動領域を解明することを目的とし、異なる数の突起を付与したプラスチックプレートを用いて口腔内で突起の数を探索する研究を行っている。その結果、一次運動野、頭頂連合野、頭頂後頭溝後部領域、および腹側前運動野が賦活されるが、突起数が少ない場合ではその活動範囲はやや狭く、さらに突起を付与しなかった課題では活動がみられるのは一次運動感覚野のみであることを明らかにした。

しかし、この研究は突起の数を数えるという課題で行っており、テストピースの3次元形状を探索したものではない。本研究においては、被験者に3次元形状を探索するという課題を与え、fMRIを用いた口腔と手の立体認知時の

脳活動を比較検討した。

被験者は神経学的および精神医学的疾患の既往がなく、顎口腔機能に異常を認めない 20 代の健常成人、男性 8 名、女性 8 名、計 16 名とし、エジンバラ利き手試験にて全員が右利きであることを確認した。

テストピースは、生体に偽害作用がなく無味無臭で、さらに加工性、寸法安定性に優れるアクリルレジンにて製作し、 $20 \times 20 \times 10 \text{ mm}$ 以内の大きさとした。被験者に実験終了までテストピースの形状の探索を続けさせることが重要であり、あまり容易な形状のテストピースを用いた場合、実験終了前に被験者がテストピースの形状を認知してしまうと探索を中断してしまう危険性がある。そのため、事前に fMRI の被験者とは異なる 10 名の被験者にテストピースの形状が判別可能かをテストし、全員が認知できなかった難易度の高いテストピースのみを採用した。

今回は、特に口腔での立体認知時での体動を考慮し、撮像方法としてスパーズ撮像法を選択した。探索開始の合図として探索時に「○」、休止時に「×」とスクリーンに表示することで視覚的に指示を行い、探索時間 6 秒と撮像時間 3 秒とを 10 回繰り返し、さらにそれを 3 セット行い 1 セッションとした。どちらのセッションを先に行うかは被験者によって無作為に決定し、両方のセッションが終了するまでは被験者には正解を知らせなかった。探索においては実験終了後にどのような形状であったかを絵で描いて示すことができるくらい細かく探索するように指示し、休止期間中には何も考えず、手及び口腔の運動を行わないように注意を与えた。尚、実験終了後、全ての被験者がテストピースの形状を認知できなかったことを確認した。

口腔と手での立体認知時における共通賦活領域は、一次体性感覚野・一次運動野・縁上回・紡錘状回・前運動野・補足運動野・前頭極・前頭前野背外側部であった。手の立体認知時のみに賦活が確認されたのは、視覚連合野であり、口腔立体認知時のみに賦活が確認されたのは、島皮質であった。

口腔内探索に際し、咀嚼筋や舌筋などの骨格筋の随意運動が行われるとともに、口腔粘膜、舌、歯根膜、筋紡錘、顎関節などからの体性感覚入力があることは明らかであることから、「形を認識する一次的認知」に関与するとされる一次運動感覚野は、口腔と手での立体認知時の共通の賦活領域として確認された。

また「意味を認識する二次的認知」に関与するとされる体性感覚野および前運動野などの領域に関しても共通の賦活領域として確認することができた。

手の立体認知時のみに賦活が確認された視覚連合野に関しては、立体認知が成立する過程に視覚野が関与するか否かについては賛否両論があり、未だ意見の一致を見ていないのが実情である。本研究において探索開始の合図を視覚的に提示したことも考慮すべきであるが、口腔立体認知時には視覚野の賦活は認められなかった。

手の立体認知能力が口腔に比較し優れていることはこれまでの研究で報告さ

れており、本研究においても手での立体認知時には口腔と比較すると容易に形状をイメージすることができ、認知時の心的な視覚イメージの関与が大きいことが示唆された。

口腔立体認知時のみに賦活が認められた島皮質は味覚、臭覚、痛覚、発話など様々な課題によって賦活する領域として多くの報告がされているが、発話を伴わない舌や下顎などの口腔の運動時においても島皮質の賦活が確認されたとの報告がなされている。本研究において手での立体認知時には賦活が確認されなかったことをふまえると、島皮質の賦活は口腔の運動制御によるものであると推察された。

一方、前頭前野は、特定の感覚情報の処理のみに関わるわけではなく、必要に応じてさまざまな感覚情報の処理に関わる。また、多数の領域で行われている情報処理を監視し、全体の活動を目的の方向に向かわせるために、必要に応じて信号を出力し、そこでの活動を制御する機能を担っていると考えられることができる。

これまでの研究により、咬合刺激による情報は脳皮質のネットワークに適度な刺激を与え、情報入力に促進効果をもたらしていることが明らかにされており、特に本研究において手と口腔の共通賦活領域として抽出された前頭前野背外側部はワーキングメモリーをはじめとする脳皮質の記憶を総合する高次の判断において重要な役割を果たしていると考えられている。このことは口腔立体認知という日常行為においても一次運動感覚野のみならず、高次機能を果たす脳皮質領域を賦活化することが可能であり、高齢者の脳活動を活性化するための方策の1つとして、摂食、咀嚼に伴う口腔内探索活動が効果的であることを示唆している。

口腔と手の立体認知時の脳活動を比較検討することを目的として、各課題を課した際の脳皮質賦活領域について fMRI を用いて探索した結果、以下の結論を得た。

1. 立体認知において口腔と手という異なる部位での探索によっても、共通する脳皮質活動領域が存在することが明らかとなった。
2. 手と口腔の立体認知能力の違いが、視覚連合野の賦活に影響を与えることが推察された。
3. 口腔立体認知時の島皮質の賦活は口腔の運動制御に関与していると考えられた。
4. 口腔立体認知という日常行為によって、前頭前野機能を活性化する可能性が示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 横 山 敦 郎
副 査 教 授 船 橋 誠
副 査 教 授 網 塚 憲 生

学 位 論 文 題 名

Comparison of cerebral activation involved in oral and manual stereognosis

(口腔と手における立体認知時の脳活動の比較)

論文要旨

立体認知とは、視覚器や聴覚器からの入力情報を用いずに、触覚情報と深部感覚情報のみによって対象物の三次元的構造を認知することである。食物を効率よく咀嚼し、食塊を適切に形成するには、口腔内に存在する対象物の形状や大きさの認知、つまり口腔立体認知が重要な役割を果たしている。これまで、立体認知と脳活動に関する研究は数多く報告されているが、口腔立体認知に関するものは少ない。そこで本研究では、fMRI を用いて口腔と手の立体認知時の脳活動を比較検討した。被験者は神経学的および精神医学的疾患のない 20 代の右利き成人男女 16 名（男 8、女 8 平均年齢 25.6 才）とした。テストピースは、アクリルレジンにて製作し、20×20×10mm 以内の大きさとした。事前にテストピースの立体認知の難易度を判定するために、fMRI で被験者とは異なる 10 名の被験者に口腔と手のそれぞれで形状の判断が可能かをテストし、全員が認知できなかった形状のテストピースのみを採用し、その中から無作為に被験者に割り当てた。探索開始の合図として探索時には「○」、休止時には「×」をスクリーンに表示させ視覚的に被験者に指示した。撮像は GE 社 Signa-LX 1.5 T MR スキャナーを用い、体動によるノイズの影響を減らすためスライス撮像法にて行った。解析には SPM99 を使用し、時間連続的 EPI 画像についての解析を行った。解析の結果、一次体性感覚野、頭頂連合野、前運動野、前頭前野背外側部が口腔および手の立体認知に共通する大脳皮質領域として描出された。また島皮質が口腔立体認知時のみに、視覚連合野が手での立体認知時のみに賦活が確認された。以上の結果から、立体認知において口腔と手という異なる部位での探索によっても、共通する大脳皮質活動領域が存在することが明らかとなった。また、手と口腔の立体認知能力の違いが、視覚連合野の賦活に影響を与えることが推察され、島皮質は口腔の運動制御に、視覚連合野は物体の形状の意味を認識する 2 次的認知における心的な視覚イメージの形成に関与すると考えられた。

審査の内容

1. 口腔では視覚連合野が賦活されない理由

認知能力に勝ると考えられる手での立体認知時にはテストピースの形状をイメージしやすく、心的な視覚イメージの形成が可能となり、手での立体認知時のみに視覚連合野が賦活したものと考えられた。

2. 弁別能力の差が関係するか

口腔は手と同等の識別閾を有しているにもかかわらず、認知能力の差が結果に影響を及ぼしたと考察した。これは立体認知が成立する過程において、単に識別閾に関する結果が影響を及ぼすのではなく、様々な要因が関与しているためであると考えられる。

3. 三次元的形状を認識することの意義、必要性について

摂食嚥下の過程において、食塊の形状を適切に認識することは円滑な摂食嚥下を行うにあたり必須であり、その意義および必要性は大きいものとする。

4. テストピースが平易な形状ではどうか

テストピースの形状が平易な場合、口腔立体認知時においても心的なイメージの形成が可能となり視覚連合野が賦活され、さらに手での立体認知時での視覚連合野の賦活もより大きくなる可能性があるとする。

5. テストピースを軟性にしなかった理由は

軟性材料での製作を試みた場合、テストピースの製作過程がより複雑になり、大量に製作するのが困難となるため、本研究においては寸法性、加工性に優れるアクリルレジンをを用いて製作した。

本研究は、口腔立体認知時の脳賦活領域を特定することによって、脳科学的に口腔機能の重要性を示した。今後さらなる研究を進めることで臨床に反映しうると考えられ、将来性の点においても高く評価されるものであった。よって学位申請者は博士（歯学）の学位授与に値するものと判定した。