教育講演 1

ポジトロン断層法(PET)が顎口腔機能の研究に応用される理由

Why can Positron Emission Tomography be applied to Research of Stomatognathic Function?

渡辺 誠

Makoto Watanabe

東北大学大学院歯学研究科加齢歯科学分野

Division of Aging and Geriatric Dentistry, Tohoku University Graduate School of Dentistry

咀嚼機能は生命維持の基盤となる重要な機能であり、咀嚼に関与する筋群と中枢神経系の協調活動によって複雑に制御される。したがって、咀嚼機能のメカニズムを解明するためには咀嚼に関与する筋群とこれらを制御する中枢神経系とを一つのシステムとして取り扱い、各筋と中枢神経系の活動を同時に観察・記録し、各筋相互および各筋と中枢神経系との協調活動を検索する必要がある。

咀嚼に関係する筋群の活動については、従来から主として、節電図法によって記録、分析が行われてきた。しかし、節電図法では、顎口腔系における筋付着部位の解剖学的複雑さから、筋活動の記録部位が限局されるため、全ての咀嚼筋・舌筋群の活動を同時記録することは困難であり、また、用いる電極が本来の生理的機能を阻害する可能性がある。さらに、筋電図法による咀嚼筋・舌筋の活動の評価には、以下に示すような筋の解剖的、機能的不均質性が考慮されなければならない。

咀嚼筋・舌筋は、四肢や体幹の筋とは異なり解剖学的に複雑な構造を有しており、機能時に筋全体として活動するばかりではなく、機能に応じて各部位が選択的に活動することが示されている¹⁾。大部分の咀嚼筋は腱中隔により数層に分画された羽状構造を呈し、各層の筋線維走行は互いに異なる⁶⁾。また、組織化学的にこれらの筋の筋線維は、他の骨格筋とは異なり、線維タイプが部位により異なる不均質な組成を有することが報告されている²⁾。これらの特徴が咀嚼筋の機能的分化を可能にしていると推察される。

舌はその外側に広がる外舌筋と、内部に広がる内舌筋により構成される筋性器官である。内舌筋、外舌筋は多くの筋により構成され、各筋の筋線維走行は異なり、互

いに交錯しているものもある。これらの筋が様々な組み合わせで収縮することにより、舌は多様にその形態を変化させ、複雑な顎口腔機能を可能にすると考えられる。

以上の形態学的、組織化学的特徴から、節電図法は、咀嚼筋や舌筋における電極周囲の活動の分析には適しているが、必ずしも筋全体の活動を検索するには適していない。このため、これらの筋が機能するときの活動様相は十分に明らかにされているとは言い難い。

一方、ポジトロン断層法 (Positron Emission Tomography; PET)、機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging; fMRI)、脳磁図 (magnetoencephalography; MEG) など、近年の医用画像工学の発展は、ヒトの生体内で従来観察することのできなかった解剖学的構造や生理学的現象などの画像化を実現した。とりわけ PET は、生体内の各種臓器における代謝を画像として観察することを可能にした。PET の測定原理³⁾は、陽電子放出性核種 (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) を標識した薬剤を生体に投与し、各組織に分布した陽電子が対消滅する際に発する γ 線を体外から検知するものである。現在、PET は主に各臓器の機能診断、腫瘍の早期発見・診断、脳高次機能の解明、薬剤効能の定量的試験などに用いられており、使用する標識薬剤により局所組織血流、アミノ酸代謝、糖代謝、神経伝達物質の動態などを観察することができる。

これまでの脳高次機能の研究は、動物実験によるものが多く、それらの研究の大部分は電気生理学的手法を用いたものであった。しかし、これらの手法は侵襲的であるので、ヒトを対象にした研究には全く適していない。他方、PET は極めて非侵襲的であることから、ヒトの脳高次機能に関する研究に多用されるに至っている⁴⁾。

咀嚼に関しては、PET を用いることにより咀嚼時の局所脳血流の変化が報告され⁵⁻⁷⁾、咀嚼と脳活動について徐々に解明されつつある。佐藤ら⁸⁾は咀嚼時の局所脳血流変化と咬合との関連について検討し、機能的正常咬合を有するものと不正咬合を有するものとは、咀嚼時の局所脳血流増加量に差があることを報告している。

近年開発された三次元データ収集型 PET (3D-PET) は、従来の二次元データ収集型 PET (2D-PET) に比較し、体軸方向への有効視野が広いため、短時間で全身の撮影が可能である。また、感度も飛躍的に改善されたため、撮影に必要な放射性薬剤量が従来の1/10~1/5と少なくなり、被曝量が大幅に低減されるようになった。最近、半減期110分の [¹⁸F] を標識した ¹⁸F-Fluorodeoxy-D-glucose (FDG) と3D-PET (FDG-3D-PET) を用いることにより、正常有歯顎者におけるガム咀嚼時の咀嚼筋・舌筋および脳の活動様相、ならびに咀嚼パターンの違いによる各筋および脳の活動様相が明らかにされている⁹⁻¹⁰⁾。

結論として、FDG-3D-PET は全身の組織活動状態を同時に捉えることが可能な唯一の装置であり、極めて生理的な条件下で各部の糖代謝量を測定できることから、本法を応用したヒトの咀嚼機能の解明が今後ますます期待される。

参考文献

- 1) Hannam A. G., McMillan A. S., Internal Organization in the Human Jaw Muscles. *Critical Review in Oral Biology and Medicine* 5 : 55-89, 1994.
- 2) Eriksson P. O., Thornell L. E., Histochemical and Morphological Muscle-Fibre Characteristics of the Human Masseter, the Medial Pterygoid and the Temporal Muscles. *Archs Oral Biol* 28 : 781-795, 1983.
- 3) Hoffman E. J., Phelps M. E. *Positron Emission Tomography: Principles and Quantitation*. In: Phelps M., Mazziotta J., Schelbert H. Eds. *Positron Emission Tomography and Autoradiography: Principles and Applications for the Brain and Heart*: 237-286, Raven Press, New York, 1986.
- 4) 川島隆太, 福田寛 PET による脳機能マッピング. *医学のあゆみ* 175 : 185-188, 1995.
- 5) 千田道雄, 石井直欣, 石井賢二, 他 ポジトロン断層法で測定した正常若年者と高齢者の咀嚼時の局所脳血流の変化. *日咀嚼誌* 2 : 49-54, 1992.
- 6) 百瀬敏光, 佐々木康人 PET を用いた脳賦活試験. *Brain Medica* 17 : 421-430, 1995.
- 7) Momose T., Nishikawa J., Watanabe T., et al. Effect of Mastication on Regional Cerebral Blood Flow in Humans Examined by Positron Emission Tomography with ¹⁵O-Labelled Water and Magnetic Resonance Imaging. *Archs Oral Biol* 42 : 57-61, 1997.
- 8) 佐藤亨至, 三谷英夫, マルコ A メヒア, 他 ポジトロン断層法による咀嚼時脳血流動態と咬合との関連. *日矯歯誌* 55 : 300-310, 1996.
- 9) Rikimaru H., Kikuchi M., Tashiro M., et al. Mapping of Energy Consumption in Masticatory and Tongue Muscles during Gum Chewing by Using Positron Emission Tomography and ¹⁸F-Fluorodeoxyglucose. *CYRIC Annual Report 1996 Cyclotron and Radioisotope Center Tohoku University*, 153-157, 1997.
- 10) Rikimaru H., Kikuchi M., Itoh M., Tashiro M., Watanabe M. Mapping Energy Metabolism in Jaw and Tongue Muscles during Chewing. *J Dent Res*, 80 : 1849-1853, 2001.