一般口演 8

自律顎運動シミュレータ JSN/3A の 咀嚼様運動における食片性状の検出

Bolus texture detection in chewing-like jaw movement of autonomous jaw-movement simulator JSN/3A

○川田充洋¹⁾, 山岸直也¹⁾, 林豊彦^{1,2)}, 中村康雄³⁾, 中嶋新一⁴⁾, 井上誠⁵⁾

Mitsuhiro Kawata¹⁾, Naoya Yamagishi¹⁾, Toyohiko Hayashi^{1,2)},
Yasuo Nakamura³⁾, Shinichi Nakajima⁴⁾, Makoto Inoue⁵⁾

¹⁾ 新潟大学大学院自然科学研究科, ²⁾ 新潟大学工学部福祉人間工学科, ³⁾ 同志社大学スポーツ健康科学部,
⁴⁾ 新潟工科大学機械制御システム工学科, ⁵⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科

¹⁾ Graduate School of Science and Technology, Niigata University, ²⁾ Department of Biocybernetics, Faculty of Engineering,
Niigata University, ³⁾ Doshisha University Faculty of Health & Sports Science, ⁴⁾ Department of Mechanical and Control
Engineering, Niigata Institute of Technology, ⁵⁾ Graduate School of Medical and Dental Science, Niigata University

I. 目 的

我々は、ヒトに近い解剖学的構造と運動制御をもつ自律顎運動シミュレータ JSN を開発し、ロボットシミュレーションの観点から顎運動の制御メカニズムについて研究してきた (図 1)¹⁾。「かみしめを伴う開閉口運動」ができる第 1 世代 JSN/1 に始まり、第 2 世代 JSN/2 では、食物のない咀嚼運動様の下顎運動“咀嚼様空口運動”が可能となった。近年では、筋張力における生体との矛盾を解消すべく、筋アクチュエータの制御法を改良し、さらに開閉口運動における食片性状の検出と噛み分け²⁾を行った。その結果、人と同様に、噛みしめ開始時における咬合力および側頭筋前部のワイヤ長の変化から食片性状を検出できることが明らかとなった²⁾。

次の課題は、より咀嚼運動に近い状態における食片性状の検出と噛み分けである。そこで本研究では、“咀嚼様空口運動”に食片を挿入した“咀嚼様運動”において、食片性状を検出することを目的とする。

II. 方 法

1. JSN/3A の構成

本システムは：1) 顎体部、2) 筋アクチュエータ、3) 感覚センサ、4) 制御システムから構成される (図 1)^{1,2)}。顎体部は上下顎体部と上下顎歯列からなる (図 2)。筋アクチュエータは DC サーボモータでワイヤを駆動するタ

図 1. JSN/3A の構成

図 2. 自律顎運動シミュレータ JSN/3A の外観

図3. 被験食片と咀嚼実験風景

イプである。このアクチュエータを用いて、咬筋、内側翼突筋、外側翼突筋、側頭筋前部、側頭筋後部、顎二腹筋の6筋束を再現した。筋の感覚器は、ワイヤ長を検出するロータリーエンコーダ（筋紡錘の機能）と、ワイヤ張力を検出する張力センサ（ゴルジ腱器官の機能）の2つとした。歯の感覚器は、顎体部の上顎左右犬歯に装着した咬合接触センサと、上顎左右第一大臼歯に装着した三次元咬合力センサ（歯根膜受容器の機能）の2つとした。

2. 食片性状の検出法

ヒトは食片性状を、主に歯根膜受容器および筋紡錘からの2種類の情報で検出・評価しているといわれている³⁾。そこでJSNでも、同種の情報から食片性状の検出を試みた。

JSNでは、歯根膜の咬合力を検出する機能と、筋紡錘の筋長変化を検出する機能は各センサにより再現している。これらのセンサを用いれば、上顎第一大臼歯に加わる咬合力の大きさと筋アクチュエータのワイヤ長変化が計測できる。ここで筋アクチュエータは、そのワイヤ長が咬合高径に最も比例する側頭筋前部アクチュエータとした（図1）。

食片性状としては弾性を考え、作業側上顎第一大臼歯に加わる咬合力および側頭筋前部アクチュエータのワイヤ長の変化から弾性係数 $E[\text{N/mm}]$ ⁴⁾を求めることにした。歯に食片が接触した時刻を $t_0[\text{ms}]$ 、サンプリング周期を $\Delta t[\text{ms}]$ 、咬合力の絶対値を $F(t)[\text{N}]$ 、側頭筋前部ワイヤ長を $L(t)[\text{mm}]$ とし、弾性係数 E を

$$E = \{F(t_u + n\Delta t) - F(t_0)\} / \{L(t_u + n\Delta t) - L(t_0)\} \quad (1)$$

で定義する。ここで n は時間区間を決めるサンプル数である。

4. 実験方法

被験食片は、硬いもの・柔らかいものの2種類とした。データの再現性を考慮して、硬いものはプラスチック製の消しゴム（トンボ鉛筆社製、10mm×10mm×2mm）とし、柔らかいものはスポンジ状の耳栓（Acaro社製、φ13mm×2mm）とした（図3）。実験条件は、咀嚼運動の周期を3.0[s]、サンプリング周期を $\Delta t = 10[\text{ms}]$ とした。運動のストローク数は全20ストロークとし、1～10ストロークを開閉口運動、11～16ストロークを咀嚼様空口運動とした。続く17ストローク目で被験食片を作業側上下第一大臼歯間に挿入し、以降のストロークを咀嚼様運動とした。上下第一大臼歯ないし歯と食片が接触した時刻 t_0 は三次元咬合力が1.5[N]に達した時刻とした。式(1)の時間

図4. 食片挿入前と挿入直後の弾性係数

区間 n は試験的に $n=5$ に設定した。咀嚼実験は、両被験食片でそれぞれ10試行ずつ行った。各試行の全ストロークにおける歯の接触時 t_0 に弾性係数 E を求め、記録した。

III. 結果・考察

図4に、食片挿入前から挿入後における弾性 E の計測値（10試行の平均±標準偏差）を示す。食片の性状を判断する17ストローク目における弾性 E は、硬いときに $E=0.49 \pm 0.158[\text{N/mm}]$ 、柔らかいときに $E=0.25 \pm 0.078[\text{N/mm}]$ の値を示し、両平均値には有意差が認められた ($p < 0.05$)。

生体での食片性状判断は「歯根膜受容器からの力情報」および「筋紡錘からの筋の長さ情報」の2つが用いられていると報告されている³⁾。そこで本実験でも咬合力とワイヤ長の2つのデータから食片性状、すなわち弾性係数 E の推定を試みた。その結果、硬さの異なる2種類の被験食片の性状の違いが弾性係数 E の値によって識別することができた。生体がまったく同じような方法で食片性状を検出しているかどうかについては断言できない。しかし、歯根膜受容器と筋紡錘からの感覚情報を用いた食片性状の認知機能をシミュレートできたことから、目標であるJSNにおける「食片の噛みわけ」の実現に向けて、第一歩を踏み出したといえる。

IV. 文 献

- 1) 林豊彦, 宮嶋晃子, 中村康雄ほか: 自律顎運動シミュレータ JSN/2C の咀嚼シミュレータとしての基本性能評価, バイオメカニズム 18, 慶応義塾大学出版会, 東京: 141-152, 2006
- 2) 山岸直也, 川田充洋, 林豊彦ほか: 自律顎運動シミュレータ JSN/3A における食片性状に応じた噛み分け, 第29回バイオメカニズム学術講演会 SOBIM2008 講演予稿集: 173-176, 2008
- 3) 日高修, 高田健治, 森本俊文: 口腔内食感の硬さに係わる歯根膜機械受容器と閉口筋筋紡錘の役割, 日本咀嚼学会雑誌, Vol.10, No1: 9-14, 2000
- 4) 西成勝好, 大越 ひろ, 神山かおるほか: 食感創造ハンドブック, サイエンスフォーラム: 155-161, 2005