咀嚼運動経路の研究

—空口側方滑走運動路および食品の影響—

森 隆 司

Studies on the Path of Masticatory Movements

—Influences of the Lateral Excursion and Foods—

Takashi Mori

I. 緒 言

顎口腔系諸器官とその感覚受容器および上位中枢との協調動作により営まれる¹⁾咀嚼運動は、生命維持に必要なエネルギー供給源としての食物の摂取に最も関連の深い動作である。また咀嚼運動は歯科補綴物の製作あるいは補綴物を製作するうえに必要な咬合器の機能向上を目的として、さらに咬合と最も密接に関連する運動として古くより多くの関心が寄せられてきた。その追求の方向は多方面から広範囲にわたっているが、なかでも咀嚼時の歯牙の接触滑走あるいは歯牙咬頭傾斜角度との関係については特に深い関心が寄せられてきた。Zsigmondy²⁾に始まるとされる³⁾咀嚼運動形態の研究^{4,5)}はほとんどが歯牙の接触部付近に注目したものである。その結果、咀嚼時に歯牙の接触滑走を認めない、あるいはその意義を認めない報告⁶⁻⁹⁾の他に、高い精度で咀嚼運動を三次元的に測定した結果、咀嚼運動時に歯牙の接触滑走を認めた報告^{10,11)}もある。

また咬頭嵌合位付近の咀嚼運動経路と咬頭傾斜との関係についても関心が持たれている^{10,12)}が、これを三次元的に測定して定量的に扱った報告は少ない。特に歯牙の咬合面形態と咀嚼運動経路とを関連づけて追求された報告はきわめて少ない。また運動経路に及ぼす外的な因子としての食品の影響に関しても定量的に三次元的に検討した報告は少ない。これでは咀嚼運動が十分に解明され

たとは言いがたい。なかには顎口腔機能異常に対する診断の一助とすることを目的として機能異常者の咀嚼運動経路についての報告¹³⁾もあるが、著者は正常有歯顎者の咀嚼運動経路をよりの確に把えることこそが咀嚼運動の解明に必要であると考えた。このためには全く追求されていない咀嚼運動経路の空間的なバラツキの様相についても定量的に把握する必要があると考えた。

著者はこれらの点の解明を目的として、非接触型の運動測定装置を用いて、より自然な状態での咀嚼運動を把え、一連の動作としての閉口運動と開口運動を三次元的に測定して、咀嚼運動の定量的な検討を行った。

II. 研究方法

咀嚼運動特性の把握を目的として、有歯顎者の咀嚼運動経路を三次元的に測定して定量的な検討を行った。

1. 実験装置

本研究に用いた運動測定装置は波長 930 nm の赤外線発光ダイオード(LED)を測定点として、この位置を光学レンズを通したカメラ部の面状光電センサで電気信号に変換する非接触型の多点運動測定装置 Selspot System である。

測定点には直径 1.8 mm の発光部を持つ小型軽量の赤外線発光ダイオード(LED)を下顎ならびに上顎用の測定点として用いる。

歯列模型上で前歯の唇側および唇側歯肉の一部を覆う常温重合レジン製のシーネを作製し、治具を用いて正中矢状面上で下顎切歯点前方約 20 mm の位置に LED を取り付けた(図1)。LED は同一水平面上に直角に置か

愛知学院大学歯学部第2補綴学教室(指導:川口豊造教授)
2nd. Dept. of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry, Aichi-Gakuin University (Director: Prof. Toyozo Kawaguchi)
昭和56年10月9日受付

図1 測定点設置用治具および上下顎用測定点(LED)

れる2台のカメラの光軸に対して各々45°の角度になるように設置した。なお、LEDは可撤性としたので反復定位が可能である。上顎用測定点は、下顎の測定点に可及的に近接する位置に設置した。いずれも口唇の開鎖を阻害しないように配慮した(図1)。

次に、2台のカメラを各々の光軸が被験者の矢状面および前頭面に垂直となるような位置に定位し、上顎および下顎に設置したLEDの位置に相当した信号の座標成分を組み合わせて前頭面、矢状面、水平面の投影図形を得る。測定点とカメラ部との距離は45cmとし、レンズ系にはオリンパス光学社製135mmレンズにケンコー社製テレプラスMC7を連結して用いた。

上顎および下顎の測定点から得た信号を差動増幅すると、上顎を基準とした下顎の位置、すなわち頭部の動揺を補償した下顎のみの運動を得ることができる。このための差動増幅器には三栄測器社製DC6L5を用いた。上顎の出力信号と上顎に対する下顎の出力信号はTEAC社製Data Recorder R-410型を用いてテープ・スピード:152.4 cm/secで記録し、同時にTEAC社製R-81 Cassette Data Recorderでテープ・スピード:19.05 cm/secにより記録する。各々の記録は記録時の1/10(R-410型)または1/8(R-81)のスピードで再生して渡辺測器社製X-Y Recorder WX-4401により記録紙に描記した。以上の方法で上顎の動揺を補正した下顎の運動を前頭面、矢状面、水平面への投影図形として得ることができる。

2. 実験方法

被験者を測定用の簡易歯科用椅子に楽な姿勢で掛けさせ、前述のシーネを口腔内の所定の位置に瞬間接着剤を用いて装着する。次に、咬合平面が水平になるように後頭部および前額部の安頭台を調節して頭部を保持する。これは正確な補正が困難な回転成分を除くためである。このとき予め頭部X線規格写真を撮影して咬合平面とカ

図2 実験風景

ンペル平面との角度差を確認しておく。カメラ部を測定点を含む水平面上で前頭面および矢状面に各々垂直となる位置で測定点から45cmの距離に定位した後、通常生じ得る頭部の動揺にも被験者の咬頭嵌合位が常に同一の位置にあることをブラウン管オシロスコープ(岩崎通信機社製MS-5100 A MEMORISCOPE)を用いて確認する(図2)。

被験者には予め空口側方滑走運動を練習させて、装置に十分慣れてから咀嚼側を指示して自由に咀嚼・嚥下をさせる。咀嚼の開始から嚥下までをデーター・レコーダーにより記録するが、咀嚼開始前および嚥下終了後には必ず空口側方滑走運動路を記録した。記録された運動の経路は記録時の1/10または1/8の速度で再生し、X-Yレコーダーを用いて各投影面の運動の軌跡を描記した。咀嚼運動の経路はストローク毎に描記し、特に矢状面投影図形のように開閉口運動の経路が類似した場合には咬頭嵌合位を確認しながら開口および閉口運動経路を分割した。また咀嚼開始前および終了後の側方滑走運動路を重ねて、明らかに両経路の差を認めたとき、および上顎に著明な動きを認めたときは、その結果を検討の対象から除外した。

各投影面の運動の軌跡の計測にはアイ電子社製Graph自動解析装置(ICOM-C4p System)を用いた。得られた計測値の校正ならびに演算処理は富士通社製電算機(Facom 270-20/30)で行った。図3は実験方法のブロックダイアグラムである。

3. 実験精度

測定点とカメラ部の関係を実験と同一の条件で定位してから、1/100 mmまで読み取り可能な三次元微動装置(中村製作所製)で各座標軸の方向に測定点を移動する。この信号をデーター・レコーダーにより記録、再生し、

X-Y・レコーダー上の記録紙に描記した軌跡について移動量を 1/20 mm 読み取り可能なノギスを用いて計測し、測定装置の精度を求めた。

図4は各方向に 1.00 mm 間隔で移動して作製した場合の各投影面の校正用チャートである。

経日的なバラツキを含む測定精度を求めるために、日時を変えて同様の操作を 10 回繰り返し、校正用チャート上の 22×22 mm の範囲にある 1680 点について、その実動距離と記録紙上の計測値から最小自乗法により各方向別の校正用方程式を求めた。この方程式から算出した標準誤差の値は、上下方向で 0.08 mm、左右方向で 0.12 mm、前後方向で 0.12 mm であった。この値には装置自体が持つ電氣的な歪のほかに、カメラ部の反復定位による誤差、頭部動揺補正時の誤差、計測および校正時の誤差などが含まれる。実験には定電圧装置を併用し、電源投入後十分安定してから実験を開始するように努めた。

レンズ系に生じる光軸方向への移動による影響を検討するために、カメラの光軸上で原点より±9 mm、計 18 mm 変化させたが、位置の変化量は最大でも 0.23 mm を超えなかった。光軸方向の移動量がその 1/2 程度の範囲では、この値が 0.1 mm 以下であった。

また、Graph 自動解析装置の読み取り分解能は 0.1 mm であるが、記録紙上の経路は約 6 倍に拡大されているので、分解能は 0.017 mm となり無視できる。

以上を総合すると、本装置による一連の操作過程を含む実験精度は最も悪い条件下でも 0.15 mm を超えるこ

とはないと考える。

4. 被験者

被験者は愛知学院大学歯学部 of 学生ならびに職員から選択した臨床的に顎口腔系に異常を認めない、いわゆる健全有歯顎者で、23 歳から 31 歳までの男子 17 名である。いずれも咬頭嵌合位が安定していることを確認した者である。

側方滑走運動を頻回繰り返した経路のうちの最も頻度の高い経路をトレースして空口側方滑走運動路とみなした。角度の測定は、前頭面および水平面では、咬頭嵌合位から側方に 3.0 mm の位置が正中面と成す角度を測定した。矢状面では前頭面で下方に移動した量を求めて、その位置と咬頭嵌合位を直線で結び、これが水平面と成す角度を測定した。各被験者の空口側方滑走運動路の各投影面における角度を表 1 に示す。また、その分散度を表 2 に示す。

5. 試験食品

日常摂取する頻度が最も高い米飯¹⁴⁾と、比較的用いられる機会の多いレーズン、ピーナッツおよび食品の性状変化が少ないチューインガムの 4 種を試験食品として選択した。レーズンはカリフォルニアレーズン、ピーナッツは planters、ガムはデンチンガムを用いた。

1 回の咀嚼量は、米飯では直径約 2 cm の半球形体で約 5 g、レーズンでは 5 粒、約 2 g、ピーナッツでは 1/2 粒×6 個、約 1.5 g、ガムでは 1 枚、約 1.6 g を軟化した状態のものとした。これを少なくとも各々 3 回以上咀嚼させて記録した。咀嚼側は習慣的咀嚼側あるいは被験者が咀嚼しやすいと答えた側とした(表 1)。右側が 64.7 %、左側が 35.3 % である。

米飯、レーズン、ピーナッツでは各々咀嚼開始直後および嚥下終了前の 5 ストロークを除く運動経路を、チューインガムでは予め軟化した後、約 50 回咀嚼させて、

図 3 実験方法の Block Diagram

図 4 校正用チャート

表 1 空口側方滑走運動路の各投影角度と実角度および習慣的咀嚼側 () : 習慣的咀嚼側

被験者	前 頭 面			水 平 面			矢 状 面		実 角 度		
	右 側	左 側	全 角	右 側	左 側	全 角	右 側	左 側	右 側	左 側	全 角
A (R)	34°	39°	73°	88°	81°	169°	89°	82°	34.0°	38.8°	72.8°
B (R)	38°	43°	81°	92°	87°	179°	93°	86°	38.0°	43.0°	81.0°
C (R)	43°	44°	87°	89°	87°	176°	88°	88°	43.0°	44.0°	87.0°
D (L)	35°	52°	87°	91°	84°	175°	91°	83°	35.0°	51.8°	86.8°
E (R)	43°	48°	91°	81°	80°	161°	81°	81°	42.7°	47.5°	90.2°
F (L)	53°	40°	93°	73°	90°	163°	70°	90°	50.9°	40.0°	90.9°
G (R)	54°	46°	100°	73°	82°	155°	67°	81°	51.8°	45.7°	97.5°
H (L)	68°	42°	110°	71°	84°	155°	53°	84°	62.0°	41.9°	103.9°
I (R)	49°	62°	111°	80°	80°	160°	77°	73°	48.4°	60.7°	109.1°
J (R)	57°	56°	113°	83°	73°	156°	79°	65°	56.5°	53.5°	110.0°
K (L)	62°	53°	115°	65°	83°	148°	48°	80°	54.7°	52.6°	107.3°
L (R)	52°	66°	118°	71°	75°	146°	67°	65°	49.5°	62.5°	112.0°
M (R)	60°	62°	122°	82°	71°	153°	74°	57°	59.3°	57.6°	116.9°
N (L)	71°	61°	132°	78°	74°	152°	57°	64°	68.0°	58.0°	126.0°
O (R)	70°	66°	136°	74°	76°	150°	52°	61°	65.1°	63.0°	128.1°
P (L)	65°	69°	134°	75°	79°	154°	61°	60°	61.7°	66.7°	128.4°
Q (R)	70°	68°	138°	70°	76°	146°	46°	56°	62.8°	64.6°	127.4°
Mean	54.4°	53.9°	108.3°	78.6°	80.1°	158.7°	70.2°	73.9°	52.0°	52.5°	104.4°
S.D.	12.5°	10.6°	20.5°	8.1°	5.4°	10.5°	15.5°	11.8°	10.7°	9.3°	17.7°

Mean : 平均値 ; S.D. : 標準偏差値 ; Mim : 最小値 ; Max : 最大値

表 2 空口側方滑走運動路の分散度 (mm)

	前 頭 面		水 平 面		矢 状 面	
	右側	左側	右側	左側	右側	左側
Mean	0.21	0.20	0.24	0.29	0.25	0.30
S.D.	0.08	0.07	0.11	0.16	0.10	0.17
Min	0.09	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11
Max	0.38	0.36	0.47	0.61	0.42	0.66

中間の 30 ストロークを計測の対象とした。計測の対象とした総咀嚼ストローク数は 3489 回であり、うち米飯が 1170 回、レーズンが 1029 回、ピーナッツが 780 回、ガムが 510 回である。

6. 計測部位

咀嚼運動経路の計測部位は、前頭面投影では閉口運動経路の滑走開始点および閉口運動経路の滑走終了点、また咬頭嵌合位より下方へ 3 mm の位置から 2 mm 間隔で下方に 17 mm までの閉口および閉口路上の 18 部位である (図 5)。各計測部位と正中面との距離を側方移動量とした。矢状面投影では咬頭嵌合位より下方に 2 mm および 3 mm の位置と、2 mm 間隔で下方に 17 mm までの閉口および閉口路上の 18 部位を計測部位とし、正中矢状面からの距離を前後移動量とした。また、咀嚼側へ

図 5 計測部位

W : 咀嚼側 B : 非咀嚼側
A : 前方向 P : 後方向

の側方移動量と前方移動量を正の値で示した。さらに、空口側方滑走運動路と咀嚼運動路との距離が各投影面について 0.30 mm 以内に接近して両者が類似の経路をとるとき、これを滑走運動とみなした。また、空口側方滑走運動路に対して閉口または閉口運動路が明確に運動方向を変える位置が 0.30 mm 以内にあるときに、変曲を示す位置から空口側方滑走運動路に下した垂線が交わる

図 6 空口側方滑走運動路の各投影角度の関係

図 7-1

図 7-2

図 7-1 閉口路側方移動量の食品別平均値

図 7-2 閉口路前後移動量の食品別平均値

位置を滑走開始点および滑走終了点とした。

空口側方滑走運動路の前頭面、矢状面および水平面の各投影角度の間には図 6 のように一定の関係が存在する。したがって、側方滑走運動路の表現には主として観察の容易な前頭面投影について検討することにした。

III. 結 果

1. 咀嚼運動経路の様相

いわゆる健全有歯顎者の咀嚼運動経路をより定量的に

把えるために、下顎切歯点付近の開口および閉口路の側方移動量および前後移動量をストローク毎に計測した。また試験食品および被験者の 2 因子による二元配置分散分析法を用いて開口および閉口路の側方移動量および前後移動量と、食品による咬合平面および空口側方滑走運動路に対する角度を検討した。

1) 閉口運動経路

閉口時の滑走様式には、咀嚼側より滑走を伴って咬頭嵌合位に達する型、非咀嚼側より滑走を伴って咬頭嵌合位に達する型および滑走することなく直接咬頭嵌合位に達する型の 3 型がある。

各型の出現頻度を食品別にみると、咀嚼側に滑走を示す型は、ガムでは 79.6%，レーズン 77.7%，米飯 73.8%，ピーナッツ 72.7% であった。非咀嚼側に滑走を示す型では、米飯およびピーナッツで 1.5%，レーズン 1.6%，ガム 1.2% であり極めて小さい値を示した。滑走を示さない型では、ピーナッツにおいて 25.8%，米飯 24.7%，レーズン 20.7%，ガム 19.2% であった。

(1) 側方移動量

図 7-1 は閉口路についての各計測部位における側方移動量の平均値を食品別に示したものである。食品間の側方移動量を計測部位別にみると、下方 5 mm 点においてのみ米飯・ピーナッツとレーズン・ガムとの間に危険率 5% で有意の差を認めたが、他の位置では有意の差を認めなかった。

(2) 前後移動量

図 7-2 は閉口路についての各計測部位における前後移動量を食品別に示したものである。下方 2 mm 点を除くすべての計測部位で食品間に有意の差を認めた。下方 3 mm 点では危険率 5% で米飯・ピーナッツとレーズ

図 8 運動角度の計測部位

ン・ガムとの間に有意の差を認めた。下方 5 mm 点から下方 15 mm 点までの各位置では危険率 1% で米飯と他の 3 食品との間に有意の差を認めた。また下方 17 mm 点では危険率 5% で米飯とガム・レーズンとの間に有意の差を認めた。

(3) 閉口角度

咬頭嵌合位付近における咀嚼時の閉口路が咬合平面および空口側方滑走運動路と成す角度を検討した (図 8)。

i) 滑走前路角度

前頭面投影において、閉口路上で下方 3 mm 点と滑走開始点とを結ぶ直線が空口側方滑走運動路と成す角度を滑走前路角度と呼ぶ (図 8-a)。食品別にみると、ピーナッツでは全例の平均値が $27.3^\circ \pm 8.8^\circ$ と最も大きく、以下米飯 $26.6^\circ \pm 9.7^\circ$ 、ガム $23.8^\circ \pm 9.8^\circ$ 、レーズン $23.7^\circ \pm 9.0^\circ$ であった。米飯・ピーナッツとガム・レーズンとの間には危険率 1% で有意の差を認めた。

ii) 側方的閉口角度

前頭面投影において、閉口路上で下方 3 mm 点と滑走開始点とを結ぶ直線を延長し、これが咬合平面と成す角度を側方的閉口角度と呼ぶ (図 8-b)。食品別にみると、ピーナッツでは全例の平均値が $65.4^\circ \pm 9.3^\circ$ で最も大きく、以下米飯 $64.4^\circ \pm 9.1^\circ$ 、ガム $61.7^\circ \pm 10.9^\circ$ 、レーズン $61.6^\circ \pm 9.2^\circ$ であった。米飯・ピーナッツとレーズン・ガムとの間には危険率 1% で有意の差を認めた。

iii) 前後の閉口角度

矢状面投影において、閉口路上で下方 3 mm 点と下方 2 mm 点とを結ぶ直線が咬合平面と成す角度を前後の閉口角度と呼ぶ (図 8-c)。食品別にみると、米飯では全例の平均値が $92.3^\circ \pm 5.8^\circ$ で最も大きく、以下ピーナッツ

$89.3^\circ \pm 8.4^\circ$ 、ガム $89.3^\circ \pm 7.8^\circ$ 、レーズン $88.9^\circ \pm 6.9^\circ$ の順であった。米飯と他の 3 食品との間には危険率 5% で有意の差を認めた。

2) 開口運動経路

開口時の滑走様式にも、閉口路が咬頭嵌合位へ達した後に咀嚼側より滑走を伴って開口する型、非咀嚼側を滑走して開口する型および滑走することなく開口する型の 3 型がある。

咀嚼側に滑走を示す型の出現頻度を食品別にみると、ガムでは 14.7%、ピーナッツ 14.4%、レーズン 14.3%、米飯 12.9% であった。非咀嚼側に滑走を示す型ではピーナッツで 55.4%、以下レーズン 49.3%、ガム 43.3%、米飯 32.8% の順であった。滑走を示さない型では米飯で 54.3% と最も大きく、以下ガム 42.0%、レーズン 36.4%、ピーナッツ 30.2% の順であった。

(1) 側方移動量

表 3、図 9 は開口路についての各計測部位における側方移動量を食品別に示したものである。非咀嚼側に滑走を示す型および咀嚼側に滑走を示す型に区分して示す。

滑走終了点および下方 3 mm 点と下方 5 mm 点においては危険率 1% で米飯と他の 3 食品との間に有意の差を認めた。下方 7 mm 点では危険率 5% で米飯と他の 3 食品との間に有意の差を認めたが、これより下方の位置では食品間に有意の差を認めなかった。

(2) 前後移動量

表 4、図 10 は開口路についての各計測部位における前後移動量を食品別に示したものである。非咀嚼側に滑走を示す型および咀嚼側に滑走を示す型に区分して示す。

食品別にみると、下方 2 mm 点から下方 15 mm 点までの位置において危険率 1% で米飯と他の 3 食品との間に有意の差を認めた。下方 17 mm 点では 5% の危険率で米飯と他の 3 食品との間に有意の差を認めた。

(3) 閉口角度

咬頭嵌合位付近における咀嚼時の閉口路が咬合平面および空口側方滑走運動路と成す角度を検討した (図 8)。

i) 側方的閉口角度

前頭面投影において下方 3 mm 点の閉口路と滑走終了点とを結ぶ直線を延長し、これが咬合平面と成す角度を側方的閉口角度と呼ぶ (図 8-d)。非咀嚼側に滑走を示す型の食品別側方的閉口角度の平均値は、ピーナッツで $93.5^\circ \pm 8.6^\circ$ 、ガム $91.0^\circ \pm 7.8^\circ$ 、レーズン $90.4^\circ \pm 10.2^\circ$ 、米飯 $89.3^\circ \pm 7.8^\circ$ であった。また咀嚼側に滑走を示す型の平均値は、レーズン $69.9^\circ \pm 10.5^\circ$ 、米飯 $69.9^\circ \pm 3.1^\circ$ 、

表 3 開口路側方移動量の食品別平均値 (mm)

	非咀嚼側に滑走を示す型							
	米 飯		レ ー ズ ン		ピーナッツ		ガ ム	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
滑終点	-0.38	0.36	-0.69	0.48	-0.86	0.54	-0.67	0.47
下方 3	-0.35	0.71	-0.87	0.77	-1.11	0.94	-0.76	0.87
5	-0.26	0.86	-0.80	0.88	-1.01	1.11	-0.69	0.98
7	-0.06	1.01	-0.61	1.00	-0.77	1.23	-0.54	1.06
9	0.23	1.16	-0.29	1.09	-0.40	1.41	-0.26	1.16
11	0.58	1.26	0.11	1.16	0.04	1.53	0.07	1.29
13	1.06	1.37	0.61	1.23	0.60	1.61	0.49	1.43
15	1.34	1.42	1.08	1.31	1.26△	1.76	0.87	1.58
(mm) 17	2.16○	1.57	1.68△	1.40	2.19○	2.44	1.38■	1.46
	咀嚼側に滑走を示す型							
	米 飯		レ ー ズ ン		ピーナッツ		ガ ム	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
滑終点	0.69	0.41	0.69	0.37	0.70	0.44	0.92	0.90
下方 3	1.65	0.95	1.63	0.46	1.92	0.86	2.08	0.90
5	2.08	1.16	2.04	0.51	2.45	0.92	2.82	1.32
7	2.47	1.33	2.49	0.56	2.94	0.92	3.31	1.50
9	2.88	1.37	2.99	0.58	3.46	0.88	3.75	1.56
11	3.31	1.31	3.49	0.50	3.98	0.74	4.14	1.51
13	3.84	1.15	4.12	0.26	4.58	0.57	4.57	1.33
15	4.29□	1.29	4.68	0.09	5.12	0.33	5.02	1.00
(mm) 17	4.67□	0.88	5.08	0.35	5.55□	0.47	5.39	0.78

Mean : 平均値 ; S. D. : 標準偏差値 ;
被験者数 N = 14 (非咀嚼側), N = 3 (咀嚼側), △… N = 13, ■… N = 12, ○… N = 10,
□… N = 2

ピーナッツ $65.3^{\circ} \pm 7.4^{\circ}$, ガム $65.1^{\circ} \pm 5.0^{\circ}$ であった。いずれもほぼ同程度の値を示し食品間に有意 (危険率 5%) の差を認めなかった。

ii) 滑走後路角度

前頭面投影において、開口路上で下方 3 mm 点と滑走終了点とを結ぶ直線が空口側方滑走運動路と成す角度を滑走後路角度と呼ぶ (図 8-e)。非咀嚼側に滑走を示す型の食品別の平均値は、ピーナッツ $59.1^{\circ} \pm 12.3^{\circ}$, 米飯 $57.4^{\circ} \pm 16.1^{\circ}$, ガム $56.7^{\circ} \pm 15.0^{\circ}$, レーズン $55.3^{\circ} \pm 18.2^{\circ}$ であった。咀嚼側に滑走を示す型では、米飯 $33.6^{\circ} \pm 3.0^{\circ}$, レーズン $33.5^{\circ} \pm 11.7^{\circ}$, ピーナッツ $29.0^{\circ} \pm 6.9^{\circ}$, ガム $28.7^{\circ} \pm 13.1^{\circ}$ で、食品間に有意の差を認めなかった。

iii) 前後の開口角度

矢状面投影において、開口路上で咬頭嵌合位の下方 3 mm 点と下方 2 mm 点とを結ぶ直線が咬合平面と成す角度を前後の開口角度と呼ぶ (図 8-f)。非咀嚼側に滑走を示す型の食品別の平均値は、米飯が $90.9^{\circ} \pm 4.4^{\circ}$ と

最も大きく、以下ガム $87.3^{\circ} \pm 3.8^{\circ}$, レーズン $86.8^{\circ} \pm 3.6^{\circ}$, ピーナッツ $86.1^{\circ} \pm 4.5^{\circ}$ であった。咀嚼側に滑走を示す型の平均値は、米飯が $89.6^{\circ} \pm 6.3^{\circ}$, レーズン $87.3^{\circ} \pm 5.7^{\circ}$, ガム $86.4^{\circ} \pm 5.7^{\circ}$, ピーナッツ $85.8^{\circ} \pm 5.7^{\circ}$ であった。いずれも米飯と他の 3 食品との間に危険率 1% で有意の差を認めた。

3) 咀嚼運動経路のバラツキ

咀嚼運動経路をより一般的な形として捉えるために、その空間的なバラツキの様相を検討した。ここで言うバラツキとは計測値より算出した標準偏差 (S.D.) の値をいう。図 11 はレーズン咀嚼時の 1 例である。図中の実線はバラツキの程度を示す。

図 12 は各食品についての左右方向のバラツキを示したものである。図中の実線は閉口路、点線は開口路を示す。

閉口路の左右方向のバラツキを食品別にみると滑走開始点から下方 7 mm 点までのバラツキ幅は 4 食品ともほぼ同程度の値を示したが、これより下方では米飯が他の

図 9 開口路側方移動量の食品別平均値

B : 非咀嚼側に滑走を示す型

W : 咀嚼側に滑走を示す型

3 食品より大きな値を示した。

開口路の左右方向のバラツキを食品別にみると、下方 7 mm 点までのバラツキ幅は 4 食品ともほぼ同程度の値を示すが、これより下方ではレーズンが他の食品より大きい値を示した。開口および閉口路ともに被験者間のバラツキはあるものの、咬頭嵌合位から下方に進むにつれて値が増加している。また閉口路の値は開口路の値より小さかった。

図 13 は各食品についての前後方向のバラツキを示したものである。図中の実線は閉口路、点線は開口路を示す。

閉口路の前後方向のバラツキを食品別にみると、米飯・ガムが他に較べてやや大きな値を示したが、開口路においてはピーナッツが最も小さな値を示した。

前後方向のバラツキの幅は開口および閉口路ともに咬頭嵌合位から下方に進むに従ってバラツキの値が増加す

る傾向を示した。また開口および閉口路間に差はなかった。

4) 咀嚼運動経路の規則性

側方移動量に対する閉口路のバラツキを変異係数 ($C.V. : \text{標準偏差/平均値} \times 100 (\%)$) で表現すると、側方移動量が異なっても、相対的なバラツキの程度を比較することができる。これを規則性と呼ぶ。

図 14 は食品別に規則性の推移の様相を示したものである。いずれの食品についてもほぼ同様の傾向がみられる。下方 3 mm 点から下方 7 mm 点までほぼ一定の値を示し、より下方の位置ほど値が増加する傾向を示した。また下方 3 mm 点から下方 7 mm 点における変異係数の値は被験者により異なるが平均値でみると、米飯では 20.5%、レーズンでは 18.0%、ピーナッツでは 23.7%、ガムでは 18.5% であった。下方 5 mm 点では米飯で 20.4%、レーズンでは 18.1%、ピーナッツでは 22.6%、ガムでは 20.1%、下方 7 mm 点では米飯で 22.2%、レーズンでは 19.1%、ピーナッツでは 23.1%、ガムでは 20.1% を示し、食品による差異は認められなかった。

2. 側方滑走運動前頭面投影角度の影響

側方滑走運動路の前頭面投影角度と咀嚼時の開口および閉口路との関係を検討した。

1) 閉口経路との関係

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角について、側方移動量、前後移動量および閉口角度との相関関係を求めた。

(1) 側方移動量

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と各計測部位での側方移動量との関係を表 5 および図 15 に示す。図 15 はレーズンの例を示す。

レーズンでは、下方 3 mm 点で相関係数 $\gamma = 0.84^{**}$ (*: 危険率 5%, **: 危険率 1%) と最も高い値を示し、以下滑走開始点より下方 11 mm 点までは高い正の相関 ($\gamma = 0.81^{**} \sim 0.52^*$) を示したが、下方 13 mm 点以下では有意の相関を示さなかった。米飯では、下方 3 mm 点で $\gamma = 0.83^{**}$ 、以下滑走開始点より下方 13 mm 点までは高い正の相関 ($\gamma = 0.82^{**} \sim 0.52^*$) を示したが、下方 15 mm 点以下では有意の相関を示さなかった。ピーナッツでは、下方 3 mm 点で $\gamma = 0.84^{**}$ を示し、以下滑走開始点より下方 11 mm 点までは高い正の相関 ($\gamma = 0.82^{**} \sim 0.52^*$) を示したが、下方 13 mm 点以下では有意の相関を示さなかった。ガムでは、下方 3 mm 点で $\gamma = 0.82^{**}$ を示し、以下滑走開始点より下方 9 mm 点までは高い正の相関 ($\gamma = 0.80^{**} \sim 0.59^*$) を示したが、下

表 4 開口路前後移動量の食品別平均値 (mm)

	非咀嚼側に滑走を示す型							
	米 飯		レ ー ズ ン		ピーナッツ		ガ ム	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
下方 2	0.25	0.22	0.46	0.22	0.53	0.30	0.44	0.19
3	0.24	0.28	0.52	0.25	0.60	0.34	0.48	0.22
5	0.12	0.41	0.47	0.32	0.59	0.42	0.41	0.30
7	-0.03	0.53	0.35	0.43	0.49	0.51	0.27	0.39
9	-0.16	0.65	0.23	0.54	0.36	0.61	0.13	0.48
11	-0.26	0.76	0.13	0.67	0.26	0.72	0.08	0.60
13	-0.38	0.84	0.02	0.82	0.14	0.85	-0.13	0.72
15	-0.46	0.96	-0.07	0.96	0.20△	1.10	-0.25	0.85
(mm) 17	-0.44○	1.20	-0.18△	1.12	0.03○	1.35	-0.40■	1.06
	咀嚼側に滑走を示す型							
	米 飯		レ ー ズ ン		ピーナッツ		ガ ム	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
下方 2	0.36	0.41	0.53	0.42	0.59	0.49	0.48	0.53
3	0.37	0.52	0.58	0.52	0.66	0.60	0.55	0.62
5	0.23	0.66	0.58	0.61	0.64	0.70	0.48	0.71
7	0.03	0.78	0.51	0.78	0.51	0.88	0.30	0.88
9	-0.18	0.96	0.40	1.02	0.35	1.07	0.08	1.08
11	-0.34	1.11	0.26	1.22	0.23	1.25	-0.12	1.34
13	-0.45	1.28	0.14	1.39	0.09	1.45	-0.33	1.65
15	-0.20□	1.82	0.05	1.50	-0.03	1.56	-0.48	1.88
(mm) 17	-0.26□	1.99	-0.05	1.68	-0.11□	1.83	-0.63	2.12

Mean: 平均値; S.D.: 標準偏差値;

被験者数 N=14 (非咀嚼側), N=3 (咀嚼側), △...N=13, ■...N=12, ○...N=10,

□...N=2

方 11 mm 点以下では有意の相関を示さなかった。

(2) 前後移動量

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と各計測部位での前後移動量との関係を表 6 および図 16 にレーズンの例を示す。

レーズンでは、下方 2 mm 点で $\gamma=0.71^{**}$ と最も高い値を示し、以下下方 3 mm 点から下方 9 mm 点までは高い正の相関 ($\gamma=0.69^{**}\sim 0.49^{*}$) を示したが、下方 11 mm 点以下では有意の相関を示さなかった。米飯では、下方 2 mm 点で $\gamma=0.70^{**}$ を示し、以下下方 3 mm 点から下方 15 mm 点まで高い正の相関 ($\gamma=0.66^{**}\sim 0.51^{*}$) を示したが、下方 17 mm 点では有意の相関を示さなかった。ピーナッツでは、下方 2 mm 点で $\gamma=0.77^{**}$ を示し、以下下方 3 mm 点から下方 17 mm 点まですべて高い正の相関 ($\gamma=0.75^{**}\sim 0.55^{*}$) を示した。ガムでは、下方 2 mm 点で $\gamma=0.73^{**}$ を示し、以下下方 3 mm 点から下方 13 mm 点までは高い正の相関 ($\gamma=0.71^{**}\sim 0.50^{*}$) を示したが、これより下方では有意の

相関を示さなかった。

(3) 閉口運動角度

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と閉口運動角度との関係を検討した。図 17 はレーズンの例を示す。

側方的閉口角度との関係を食品別にみると、ピーナッツでは $\gamma=-0.68^{**}$ ($Y=-0.53X+92.88$) 以下レーズン $\gamma=-0.63^{**}$, ガム $\gamma=-0.61^{**}$ ($Y=-0.59X+92.24$), 米飯 $\gamma=-0.57^{**}$ ($Y=-0.46X+88.29$) の順で、すべて有意に負の相関を示した。

滑走前路角度との関係をみると、米飯では $\gamma=0.64^{**}$ ($Y=0.54X-1.71$) 以下レーズン $\gamma=0.61^{**}$, ピーナッツ $\gamma=0.60^{**}$ ($Y=0.47X+2.88$), ガム $\gamma=0.48^{*}$ ($Y=0.41X+2.44$) の順で、すべて有意に正の相関を示した。

前後の閉口角度との関係をみると、レーズンでは $\gamma=-0.51^{*}$, 以下ガム $\gamma=-0.49^{*}$ ($Y=-0.34X+106.79$), 米飯 $\gamma=-0.42$ ($Y=-0.21X+103.41$), ピーナッツ $\gamma=-0.39$ ($Y=-0.29X+104.37$) の順でいずれも負の相関を示したが、米飯およびピーナッツでは有意の相関を

図 10 開口路前後移動量の食品別平均値

B: 非咀嚼側に滑走を示す型
W: 咀嚼側に滑走を示す型

図 11 咀嚼運動経路のパラッキの1例

示さなかった。

2) 開口運動経路との関係

側方滑走運動前頭面投影角度を咀嚼側半角および非咀嚼側半角に区分して開口時の側方移動量, 前後移動量および開口運動角度を検討した。

図 12 左右方向のパラッキ

図 13 前後方向のパラッキ

図 14 変異係数 (C.V.) の推移

(1) 側方移動量

表 7 は滑走終了点から下方 17 mm 点までの側方移動量と, 各々の側方滑走運動前頭面投影角度との相関係数

の値を食品別に示したものである。最も高い相関係数の値をみると、米飯では咀嚼側の滑走終了点で $\gamma = -0.35$ 、レーズンおよびピーナッツでは非咀嚼側の下方5mm点で $\gamma = 0.27$ および $\gamma = 0.28$ 、ガムでは咀嚼側の下方13

mm 点で $\gamma = 0.29$ を示したが、すべての食品および計測部位で有意の相関を示さなかった。

(2) 前後移動量

側方移動量と同様に下方2mm点から下方17mm点

表 5 空口側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と閉口路側方移動量との相関係数(γ)の値

	米 飯	ピーナッツ	ガ ム
滑開点	0.81**	0.71**	0.80**
下方 3	0.83**	0.84**	0.82**
5	0.82**	0.82**	0.78**
7	0.77**	0.74**	0.70**
9	0.70**	0.63*	0.59*
11	0.61**	0.52*	0.46
13	0.52*	0.45	0.34
15	○0.46	○0.35	0.25
(mm) 17	□0.36	□0.54	△0.26

被験者数 N=17, ○…N=16, △…N=15, □…N=12

表 6 空口側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と閉口路前後移動量との相関係数(γ)の値

	米 飯	ピーナッツ	ガ ム
下方 2	0.70**	0.77**	0.73**
3	0.63**	0.75**	0.71**
5	0.66**	0.72**	0.67**
7	0.62**	0.67**	0.63**
9	0.58*	0.63**	0.58*
11	0.53*	0.59*	0.53*
13	0.52*	0.56*	0.50*
15	○0.51	○0.55*	0.47
(mm) 17	□0.41	□0.65*	△0.48

被験者数 N=17, ○…N=16, △…N=15, □…N=12

図 15 空口側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と閉口路側方移動量との関係(レーズン)

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角(度)
図 16 空口側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と閉口路前後移動量との関係(レーズン)

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角(度)
図 17 空口側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角と閉口運動角度との関係(レーズン)

までの開口路の前後移動量と側方滑走運動前頭面投影角度との相関係数の値を食品別に示したものが表 8 である。最も高い相関係数の値をみると、米飯で $\gamma = 0.48$ 、レーズンで $\gamma = 0.34$ 、ガムで $\gamma = 0.47$ 、ピーナッツで $\gamma = 0.68^{**}$ を示し、いずれも咀嚼側であった。しかしピーナッツを除く他の食品では有意の相関を示さなかった。

(3) 開口運動角度

側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角および非咀嚼側半角と側方的開口角度および前後的開口角度との関係を検討した。

側方的開口角度について、両者の最も高い相関係数の値をみると、米飯では $\gamma = 0.14$ 、レーズンでは $\gamma = 0.26$ 、ピーナッツでは $\gamma = -0.34$ で非咀嚼側についてであり、ガムでは $\gamma = 0.17$ で咀嚼側についてであったが、いず

表 7 空口側方滑走運動前頭面投影角度と開口路側方移動量との相関係数 (γ) の値

	米 飯		レ ー ズ ン		ピーナッツ		ガ ム	
	W	B	W	B	W	B	W	B
滑終点	-0.35	-0.30	-0.12	0.17	-0.11	0.05	-0.15	-0.13
3	-0.14	-0.18	0.00	0.25	0.06	0.23	-0.15	-0.11
5	0.02	-0.13	0.06	0.27	0.13	0.28	-0.07	-0.11
7	0.10	-0.10	0.09	0.24	0.17	0.28	0.02	-0.10
9	0.16	-0.07	0.13	0.19	0.18	0.27	0.12	-0.10
11	0.22	-0.04	0.18	0.17	0.20	0.26	0.21	0.06
13	0.27	0.00	0.23	0.14	0.22	0.24	0.29	-0.07
15	0.26	-0.01	0.26	0.07	0.27	0.27	0.23	-0.10
(mm) 17	0.36	0.06	0.27	0.18	0.30	0.28	0.30	-0.05

W : 咀嚼側半角, B : 非咀嚼側半角

表 8 空口側方滑走運動前頭面投影角度と開口路前後移動量との相関係数 (γ) の値

	米 飯		レ ー ズ ン		ピーナッツ		ガ ム	
	W	B	W	B	W	B	W	B
下方 2	0.41	0.16	0.18	0.06	0.54*	0.35	-0.04	-0.13
3	0.42	0.15	0.22	0.02	0.60*	0.35	-0.03	-0.14
5	0.47	0.22	0.29	0.01	0.61*	0.33	0.07	-0.11
7	0.48	0.29	0.34	0.04	0.68**	0.35	0.22	0.01
9	0.47	0.32	0.29	0.05	0.68**	0.40	0.30	0.10
11	0.45	0.36	0.29	0.11	0.67**	0.46	0.37	0.21
13	0.44	0.41	0.28	0.16	0.60*	0.48	0.42	0.31
15	0.45	0.43	0.29	0.18	0.58*	0.43	0.47	0.38
(mm) 17	0.34	0.47	0.29	0.22	0.59*	0.48	0.46	0.44

W : 咀嚼側半角, B : 非咀嚼側半角

図 18 前頭面投影咀嚼側半角の区分

れも有意の相関を示さなかった。前後的開口角度についてみると、米飯では $\gamma = -0.33$ 、レーズンでは $\gamma = -0.25$ 、ピーナッツでは $\gamma = -0.57^*$ で咀嚼側についてであり、ガムでは $\gamma = 0.10$ で非咀嚼側についてであったが、ピーナッツを除く他の 3 食品ではすべて有意の相関を示さなかった。

3) 閉口経路の形態との関係

空口側方滑走運動路の前頭面投影角度と閉口路との関係は、前頭面投影咀嚼側半角が増大するに従い有意に閉口路の側方移動量が増加し、また有意に前方を経過する。特に咬頭嵌合位に近い部位ほどその影響を強く受ける。そこで側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角 (α) をその角度によって、 $\alpha < 50^\circ$ 、 $50^\circ \leq \alpha < 60^\circ$ 、 $\alpha \geq 60^\circ$ の 3 区間に区分した S・M・L の 3 グループについて閉口経路を検討した。図 18 は各被験者の空口側方滑走運動路前頭面投影咀嚼側半角を角度の順に配置したものである。各々の区間の側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角の値を平均値で示すと、S : $42.0^\circ \pm 3.7^\circ$ 、M : $53.6^\circ \pm 2.1^\circ$ 、L : $66.0^\circ \pm 5.0^\circ$ である。また各区間の被験者数は S : 7 名、M : 5 名、L : 5 名であった。

閉口時に咀嚼側を滑走する型の出現頻度を区間別、食品別にみると、米飯では L : 86.0%、M : 78.6%、S : 57.0% の順で、L・S 間の差は 29.0% であった。レーズンでは L : 86.5%、M : 85.0%、S : 61.5% の順で、L・S 間の差は 25.0% であった。ピーナッツでは L : 83.5%、

表 9 S.M.L. 各区间別閉口路側方移動量の平均値および 95% 信頼区間 (mm)

	米 飯			レ ー ズ ン		
	S	M	L	S	M	L
	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
滑開点	0.46 (0.35)	1.16 (0.37)	2.24 (0.83)	0.54 (0.41)	1.23 (0.38)	2.14 (0.78)
下方 3	1.42 (0.43)	2.12 (0.76)	3.56 (0.96)	1.52 (0.43)	2.37 (0.58)	3.64 (1.03)
5	2.04 (0.54)	2.76 (1.04)	4.31 (1.19)	2.15 (0.61)	3.09 (0.82)	4.55 (1.22)
7	2.65 (0.66)	3.35 (1.35)	5.18 (1.46)	2.80 (0.83)	3.69 (1.19)	5.26 (1.49)
9	3.24 (0.79)	3.85 (1.78)	5.71 (1.80)	3.44 (1.05)	4.16 (1.65)	5.73 (1.83)
11	3.64 (0.93)	4.18 (2.22)	5.92 (2.19)	3.93 (1.23)	4.47 (2.10)	5.93 (2.10)
13	4.03 (0.99)	4.33 (2.64)	6.00 (2.38)	4.29 (1.39)	4.62 (2.53)	5.97 (2.28)
15	4.18 (1.27)	4.42 (2.72)	5.95 (2.36)	4.47 (1.54)	4.68 (2.79)	5.84 (2.38)
(mm) 17	4.84 (4.47)	4.91 (2.23)	5.86 (2.40)	4.47 (1.71)	5.39 (2.37)	5.73 (1.99)

	ビ ー ナ ッ ツ			ガ ム		
	S	M	L	S	M	L
	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
滑開点	0.59 (0.52)	1.35 (0.55)	1.93 (0.88)	0.52 (0.47)	1.22 (0.50)	2.04 (0.58)
下方 3	1.42 (0.48)	2.28 (0.61)	3.31 (1.04)	1.52 (0.56)	2.28 (0.70)	3.74 (1.09)
5	1.98 (0.62)	2.92 (0.88)	4.16 (1.37)	2.19 (0.80)	2.95 (0.83)	4.66 (1.34)
7	2.57 (0.84)	3.50 (1.25)	4.88 (1.84)	2.84 (1.05)	3.52 (1.13)	5.30 (1.60)
9	3.17 (1.14)	4.05 (1.75)	5.43 (2.51)	3.46 (1.29)	3.97 (1.49)	5.64 (1.90)
11	3.62 (1.42)	4.03 (1.80)	5.70 (3.15)	3.93 (1.51)	4.24 (1.85)	5.71 (2.19)
13	3.88 (1.72)	4.63 (2.83)	5.76 (3.61)	4.26 (1.74)	4.34 (2.21)	5.63 (2.28)
15	4.44 (2.30)	4.78 (2.78)	5.79 (3.46)	4.42 (1.99)	4.31 (2.48)	5.38 (2.22)
(mm) 17	5.19 (3.05)	5.76 (1.50)	7.32 (4.87)	4.47 (2.16)	4.73 (1.72)	5.34 (4.67)

Mean: 平均値 (): ±95% 信頼区間

図 19 区間別咀嚼運動経路 (レーズン)

M: 77.0%, S: 57.5% の順で, L・S 間の差は 26.0% であった。ガムでは L: 91.8%, M: 85.6%, S: 61.5%

の順で L・S 間の差は 30.3% であった。

咬頭嵌合位より下方 17 mm 点までの各計測部位における閉口時の側方移動量の平均値とその 95% 信頼区間を S・M・L の区間別に示したのが表 9 である。表 10 は閉口時の前後移動量の平均値とその 95% 信頼区間を示したものである。また図 19 はレーズンにおける各グループ別の側方および前後移動量の平均値で示した閉口運動経路である。

S・M・L 各グループにおける側方移動量の平均値の差の幅をレーズンについてみると、滑走開始点で、1.60 mm、下方 3 mm 点より下方 11 mm 点までは 2.00 mm~2.46 mm、下方 13 mm 点以下では 1.26 mm~1.68 mm であった。他の食品もほぼ同様の傾向であった。また前後移動量の各グループ間の差の幅をレーズンについてみると、下方 2 mm 点、3 mm 点および下方 7 mm 点で 0.76 mm~0.91 mm、下方 7 mm 点を除く下方 5 mm 点から下方 17 mm 点までは 1.00 mm~1.10 mm であった。他の食品もほぼ同様の傾向であった。

図 20 は側方的閉口角度、滑走前路角度および前後の

表 10 S.M.L. 各区分別閉口路前後移動量の平均値および 95% 信頼区間 (mm)

	米 飯			レ ー ズ ン		
	S	M	L	S	M	L
	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
下方 2	-0.36 (0.37)	-0.21 (0.41)	0.38 (0.31)	-0.29 (0.32)	-0.08 (0.43)	0.47 (0.84)
3	-0.43 (0.41)	-0.28 (0.53)	0.39 (0.34)	-0.33 (0.38)	-0.08 (0.62)	0.58 (0.57)
5	-0.51 (0.49)	-0.30 (0.77)	0.43 (0.35)	-0.34 (0.49)	0.00 (0.99)	0.67 (0.57)
7	-0.58 (0.58)	-0.24 (1.02)	0.46 (0.42)	-0.30 (0.60)	0.13 (1.32)	0.75 (0.55)
9	-0.60 (0.67)	-0.13 (1.22)	0.49 (0.52)	-0.22 (0.68)	0.27 (1.58)	0.80 (0.62)
11	-0.67 (0.74)	-0.05 (1.38)	0.50 (0.58)	-0.17 (0.76)	0.35 (1.81)	0.63 (0.72)
13	-0.74 (0.80)	-0.02 (1.56)	0.49 (0.65)	-0.17 (0.86)	0.41 (2.02)	0.83 (0.84)
15	-0.80 (1.03)	-0.12 (1.64)	0.48 (0.66)	-0.19 (0.93)	0.41 (2.20)	0.81 (0.96)
(mm) 17	-0.72 (3.48)	-0.25 (2.59)	0.43 (0.73)	-0.37 (1.03)	0.57 (3.15)	0.73 (1.09)

	ビ ー ナ ッ ツ			ガ ム		
	S	M	L	S	M	L
	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
下方 2	-0.35 (0.36)	0.03 (0.27)	0.37 (0.43)	-0.29 (0.35)	-0.12 (0.43)	0.51 (0.20)
3	-0.41 (0.43)	0.08 (0.46)	0.44 (0.42)	-0.34 (0.38)	-0.14 (0.65)	0.68 (0.21)
5	-0.46 (0.56)	0.23 (0.72)	0.58 (0.57)	-0.38 (0.42)	-0.07 (1.02)	0.79 (0.41)
7	-0.48 (0.65)	0.47 (1.02)	0.71 (0.77)	-0.37 (0.45)	0.06 (1.37)	0.92 (0.73)
9	-0.44 (0.69)	0.64 (1.27)	0.78 (0.96)	-0.32 (0.47)	0.15 (1.58)	1.02 (1.01)
11	-0.43 (0.70)	0.80 (1.48)	0.83 (1.12)	-0.32 (0.53)	0.24 (1.80)	1.07 (1.22)
13	-0.47 (0.67)	0.84 (1.69)	0.84 (1.20)	-0.37 (0.63)	0.25 (1.91)	1.08 (1.38)
15	-0.68 (0.70)	0.98 (1.83)	0.78 (1.24)	-0.51 (0.77)	0.22 (2.02)	1.03 (1.45)
(mm) 17	-0.96 (1.71)	0.93 (2.69)	1.20 (3.18)	-0.68 (0.88)	0.31 (2.86)	1.16 (2.28)

Mean : 平均値 (): ± 95% 信頼区間

図 20 S.M.L. 区分別各閉口運動角度の平均値と 95% 信頼区間

閉口角度の平均値とその 95% 信頼区間を側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角の S・M・L 各区分別に示したものである。

側方的閉口角度の区分別平均値をみると、S が最も大きく以下 M、L の順で、S・L 間の平均値の差を食品別

にみると、米飯では 11.6°、レーズンで 13.9°、ピーナッツで 13.6°、ガムで 16.4° であった。滑走前路角度についてみると、L が最も大きく以下 M、S の順で、L・S 間の差は、米飯で 13.1°、レーズンで 10.8°、ピーナッツで 11.1°、ガムで 8.3° であった。前後的閉口角度について

図 21 閉口運動経路の区間別パラッキ (ガム)

みると, Sが最も大きく以下 M, L の順で S・L 間の差は, 米飯で 5.5° , レーズンで 8.5° , ピーナッツで 7.4° , ガムで 9.7° であった。

4) 運動経路のパラッキに及ぼす影響

S・M・L 3 グループについて閉口路のパラッキの程度を標準偏差値で検討した。図 21 はガムの左右および前後方向のパラッキの程度を S・M・L の区間別に示したものである。左右方向, 前後方向ともにパラッキの程度は L グループで最も大きく, M, S の順に小さい。他の 3 食品についても同様であった。

開口路についても側方滑走運動前頭面投影咀嚼側半角の場合と同様に非咀嚼側半角 (β) を $\beta < 50^\circ$, $50^\circ \leq \beta < 60^\circ$, $\beta \geq 60^\circ$ の 3 区間に区分して, 各々を S・M・L とした。左右方向のパラッキを S・M・L の 3 グループ別にみると, 食品の種類にかかわらず, 前頭面投影咀嚼側半角では L で最も大きく $L \geq M > S$ の順となる傾向を示した。また前頭面投影非咀嚼側半角でも $L > M \geq S$ となる傾向を示した。また前後方向のパラッキを S・M・L 別にみると, 食品にかかわらず咀嚼側半角では $L > S > M$, 非咀嚼側半角では $L > M = S$ となる傾向を示した。

以上の点から, 側方滑走運動前頭面投影角度が大きいほど咀嚼経路が左右および前後方向ともにバラつく傾向にあることになる。

IV. 考 察

咀嚼運動に関する研究は Zsigmondy²⁾以来, 運動経路の様相の観察^{2,4,5)}, 運動範囲^{8,15)}, 歯牙咬合面形態との関係¹⁰⁻¹²⁾, 食品差, 個人差など^{7,8,10)}種々な角度から検討されて今日に至っている。また咀嚼運動が顎口腔系諸器官とその感覚受容器および上位中枢との協調動作により営まれていることから, 咀嚼運動と他現象とを関連づけたもの^{16,17)}, あるいは咀嚼運動経路に及ぼす感覚受容器の影響¹⁸⁾など生物科学的な観点より追求したもの¹⁹⁾もある。なかでも, 咀嚼時における歯牙の接触滑走の有無, あるいは咬頭傾斜角度との関係については, 特に深い関心が寄せられてきた。咀嚼運動時に歯牙の接触滑走を認めない, あるいはその意義を認めない報告⁶⁻⁹⁾と, 側方滑走運動路と咀嚼運動経路との関連から歯牙の接触滑走を認める報告^{10,11)}がある。いずれも咬頭傾斜と運動経路との関係を扱えたものではあるが, 定量的に示しているとは言い難く, これでは不十分である。

そこで, 著者は歯牙の咬頭傾斜角度と咀嚼運動経路の定量的な把握を目的として, より自然な状態で咀嚼運動経路を観測して, 歯牙の咬合面形態によって規定される空口側方滑走運動路と咀嚼運動路との関係を三次元的に検討した。

1. 研究方法について

i) 実験方法と実験精度について

下顎運動の観測には種々の装置や測定方法が用いられてきた。チェックバイト法²⁰⁾, 単純描記法²¹⁾, パントグラフ描記法²²⁾などは臨床の場にも広く用いられている。Luce²³⁾に始まる写真撮影法²⁴⁾, 映画法^{25,26)}さらには X 線映画²⁷⁾や X 線⁶⁾を含めた光学的な運動記録法は標点が軽量で, 非接触状態での観測を可能にするという利点を有している。光学的方法に時間的な要素^{9,28)}を加えたり, 高い測定精度を持つもの²⁻⁹⁾もある。さらに小型ビデオ装置 (V.T.R.) を利用した記録法³⁰⁾では記録・再生の容易さという利点を備えている。

電気的な方法³¹⁻⁴⁰⁾は容易に時間的要素を組み入れたり, 他現象との同時記録や記録・再生が容易であるなど多くの利点を有しており, 電子工学の発達に伴う装置の小型化や勝れた操作性の故にますます多く使用される傾向にある。なかでも, 非接触型の装置³⁴⁻³⁹⁾は被験者に与える影響が少なく, より自然に近い状態で下顎運動の測定が可能で, 磁力の応用によるもの^{34,35)}と光学系を利

用したもの³⁶⁻³⁹⁾とがある。また下顎の運動の捉え方には上顎に対する相対運動として捉える方法^{34,35)}と、上顎および下顎測定点の運動を同時に記録して演算処理により上顎に対する下顎の運動を得る方法³⁷⁻³⁹⁾とが用いられている。

著者の用いた装置³⁹⁾は光学系を利用した電気的な装置であり同時に多数点が測定できる利点を有している。また測定点としての小型軽量の赤外発光ダイオードを取り付けたシーネを装着するのみでよいので、咀嚼運動を自由に行うことができる。また上顎にも測定点を設けて、上下顎の動きを演算処理して頭部の動きを補正した下顎運動を取り出すことが可能である。しかし、頭部回転成分に対しては正確な補正が困難となるので、被験者の後頭部と前額部を安頭台で支えて回転の防止を計った。被験者に聞くと、支持されるとかえって楽であると答えた。したがって、より自然な状態で咀嚼運動が行われたと考える。

咀嚼運動を対象とした多くの研究は水平基準面を咬合平面としているが、なかにはフランクフルト平面^{7,17,40,41)}を用いたものもある。著者は歯列を基準とする咬合平面との関係も検討の対象とするために水平基準面として咬合平面を用いた。咀嚼運動の解明を目的とした多くの研究では、測定点を下顎切歯点部に設けているが、なかには臼歯部に設けたもの^{7,16)}もある。頭部X線規格写真上で被験者の下顎切歯の切縁から下口唇外縁までの距離を計測した値が平均 $15.6 \text{ mm} \pm 2.1 \text{ mm}$ であったので、測定点が口唇等で覆われることのないように、下顎切歯点前方約 20 mm の位置に測定点を設置して、その運動を記録した。

被験者が装置に十分慣れた状態で、すべての運動経路をデータ・レコーダーに記録した後、運動の軌跡をX-Y・レコーダーでストローク毎に描記した。この際、問題となる咀嚼運動とペンの追従速度を考慮して記録時の $1/10$ のテープ・スピードで再生したので十分に追従できた。また矢状面投影では開口および閉口運動経路を分割して描記したので方向を誤ることがない。計測の対象とした資料は、咀嚼開始前および終了後の咬頭嵌合位の位置と側方滑走運動経路に変化がなく、さらに頭部に著明な動きを認めなかった場合のみに限定した。また最も悪い条件下でも測定精度 0.15 mm を超えることはない。咀嚼運動の定量的な検討を目的とする本研究には十分な測定精度であると考えられる。

ii) 被験者および側方滑走運動の投影角度について
臨床的に顎口腔系の異常を認めない健全有歯者 17

名を被験者としたが、側方滑走運動路を描記する場合、咬頭嵌合位から左右いずれか一方に滑走運動を行わせると、藍¹⁰⁾、川口³²⁾も指摘しているように、逆方向への経路ではバラツキが大きく、かつ前方を経過することが多い。そこで、頻回繰り返した経路のうちで最も頻度の高い経路をトレースして、空口側方滑走運動路とみなした。またその角度の計測は咬頭嵌合位から側方に 3.0 mm の位置を取り、咬頭嵌合位から結んだ直線が成す角を各投影面の角度とした。

各投影面の角度は、前頭面で平均 $108.3^\circ \pm 20.5^\circ$ 、水平面で平均 $158.7^\circ \pm 10.5^\circ$ 、矢状面では左右側の平均で $72.0^\circ \pm 13.7^\circ$ であった。これは従来^{5,10,15,28)}とほぼ同程度の値である。しかし、かなりの個人差が認められたので単純に角度の値を平均値と比較することは無意味と言える。

側方滑走運動路の各投影面相互の関係について、藍¹⁰⁾は矢状面投影角度の変化により水平面投影角度と前頭面投影角度とが相互に逆の関係で変化することを報告しているが、著者は各投影面半角の間に $S = -1.09 \cdot F + 131.02$ ($\gamma = -0.91^{**}$)、 $S = 1.82 \cdot H - 72.71$ ($\gamma = 0.91^{**}$)、 $S = 23.27 - 0.63 \cdot F + 1.04 \cdot H$ ($\gamma = 0.97^{**}$)、(S: 矢状面投影半角, F: 前頭面投影半角, H: 水平面投影半角) の関係で、各投影角度が相互に影響していることを数式で示し得た。

iii) 試験食品について

試験食品には、日常摂取する機会が多く、組成も均一、かつ摂取量が容易に規定できるものが望ましい。従来の咀嚼運動の研究には粉砕性食品として生米やピーナッツ、線維性食品としてレーズンやタクアン、抵抗性食品としてカマボコやチューインガム、切断性食品として生ニンジンやリングなどを用いることが多かった。また軟性食品と硬性食品に区分した報告^{17,41)}もある。ガムは組成が均一であり、摂取量や咀嚼回数を規定することが容易な反面、嚥下に至るまでの咀嚼の経過を追求するには不適當である⁶⁾。本実験では、摂取頻度が最も高い米飯¹⁴⁾と比較的咀嚼運動に関する研究に用いられる機会の多いレーズン、ピーナッツおよび咀嚼回数¹⁾の規定の容易なガムを加えた4食品を試験食品として選択した。

食品の量が咀嚼運動経路に関与すると考えられるが、田原⁴⁰⁾は食品摂取量を2倍にした場合、上下顎切歯間距離と最大側方変位量が7%程度増加するが、咀嚼リズムや咀嚼回数には変化がないと報告している。川畑⁴²⁾は嚥下までの咀嚼回数40回を中心として食品の量と咀嚼回数との間に正の相関を認めている。また咀嚼回数や咀嚼

時間は各人の習慣によりほぼ一定である⁴³⁾とも、食性による差⁴⁰⁾または個人差や個人内変動が大きい⁴⁴⁾とも報告されている。

著者の用いたピーナッツ約 1.5 g 咀嚼の場合の咀嚼回数をみると、咀嚼開始後および嚥下終了前の 5 ストロークを除いた平均ストローク数は 15.3 ± 4.3 回であり、最小 8 回、最大 22 回と個人差が非常に大きかった。Kawamura⁴⁴⁾は 4.0 g のピーナッツを咀嚼、嚥下させた場合、正常咬合者では 20~40 回であったと述べ、田原⁴⁰⁾は 1.5 g のピーナッツの場合に平均 23.5 ± 4.6 回であり個人差が大きかったと述べている。いずれも著者の咀嚼開始から嚥下までのストローク数とほぼ同程度の値であった。著者が用いた試験食品の量は予備実験により被験者が最も自然に咀嚼できると答えた平均的な量である。各食品の咀嚼回数をみると、米飯では約 5g で平均 22.9 ± 5.9 回、レーズンでは約 2g で平均 20.2 ± 4.9 回であった。いずれも適切な量であると考えられる。

iv) 計測部位について

咀嚼運動経路を定量的に把握することを目的として、前頭面および矢状面投影について運動経路上の計測部位を咬頭嵌合位より下方 17 mm までと規定したが、咀嚼運動時の最大開口範囲に関する報告をみると、Hildebrand⁸⁾は 10~16 mm の範囲にあると述べ、根本¹⁵⁾は 18.8 mm~27.5 mm に、田原⁴⁰⁾は 15.8 mm~22.9 mm に、川村¹⁷⁾は平均 18.2 mm、Beyron⁴⁵⁾は 17.6 mm、Gillings⁴⁶⁾は 13.1 mm であると報告している。これらの報告から考えると、著者が計測部位の下端として規定した咬頭嵌合位より下方 17 mm の位置は咀嚼運動時の最大開口範囲に近い値になる。

他の計測項目については、最大側方偏位量^{15,40,45,46)}や前後方向への最大偏位量^{40,41)}あるいは咬頭嵌合位付近に限定した運動経路を計測した報告^{10,12,45)}はみられても、咬頭嵌合位より下方に 10 mm 以上離れた開閉口経路について詳細に計測した報告はない。また咀嚼力出現時の側方移動量¹⁶⁾あるいは咀嚼期の側方移動量¹⁷⁾など他現象との同時記録によるものなども閉口運動経路を主たる対象としており、観測も前頭面からのみのものがほとんどである。

著者は咀嚼運動経路を三次元的に測定して、咬頭嵌合位より下方 17 mm までの開閉口経路上の 36 部位を計測部位として選択したが、咀嚼運動が一連の動作であることを考えると、閉口および閉口経路を連続して捉えることこそが咀嚼運動の定量的な追求にとって不可欠なことである。この意味で咬頭嵌合位より下方に 17 mm とい

う範囲は必要かつ十分な値である。

2. 咀嚼運動経路の概要について

咀嚼運動経路の様相については主として前頭面からの観察が多く、水平面^{9,11)}や矢状面^{10,25)}からの観察は少ない。いずれも歯牙の接触状態を主たる観点とした報告が多い。

著者は咀嚼運動時の歯牙の接触状態を前頭面および水平面を主体に、矢状面を参考にして観察し、空口時の側方滑走運動路と 0.3 mm 以内の距離にあって類似の運動経路をとるときに限って滑走ありと規定した。その結果 Zsigmondy²⁾以来報告された種々の運動経路の形態^{2,4,5)}のすべてが観察された。藍¹⁰⁾の a 型あるいは水野¹²⁾の I 型に属する閉口および閉口時に共に咀嚼側を滑走する例の出現率をみると、米飯で 0~83.6%、レーズンで 0~87.0%、ピーナッツで 0~81.7%、ガムで 0~90.1% となり総平均では 14.1% を示した。藍¹⁰⁾も a 型の出現頻度が 14~70% で症例によりかなり大きな差異がみられたと報告しているが、著者の場合も個人差が非常に大きかった。閉口時に滑走を伴う経路の出現率をみると、全体で平均 77.4% に認められ、4 食品ともほぼ同程度の値を示した。また閉口時に滑走を伴う経路の出現率は平均 59.3% に認められ、食品別ではピーナッツが平均 69.8%、米飯が平均 45.7% で食品による差が大きい。藍¹⁰⁾は側方滑走運動に関係する経路の発現率が全体の 60~70% であるとし、また両側にみられる例の発現率は約 20% で、生米・ヌガーで多いと報告している。水野¹²⁾は 11 種類の食品について、滑走を伴う経路が閉口時で 76.8%、閉口時で 58.4% に認めており、閉口時と閉口時の割合は、米飯で 2:1、ピーナッツ・レーズンで 1:1、ガムはこの中間にあったと述べている。いずれも著者と同様の傾向である。

閉口時に滑走を伴う経路は、粉砕性食品に属する硬い食品に多く見られた。閉口時のみ滑走を示す経路はピーナッツで 15.1% と 4 食品中で最も高い値を示した。一方、米飯では 5.8% と最も低く、レーズン、ガムはこの中間にあった。硬い粉砕性の食品の場合では咀嚼を効果的に進めるために閉口時の滑走運動が行われていると考えられるが詳細は不明である。筋活動や咀嚼力あるいは咀嚼の能率との関連において検討する必要がある。Adams⁴⁷⁾らはパン、レタス、ピーナッツを用いて、閉口時では平均 62%、閉口時では 38% に接触を伴う経路を認めたが、食品の種類とは無関係であると報告している。Suit⁴⁸⁾らは閉口時で 60.5%、閉口時で 58.4% に滑走

図 22 開口時に前方突彎を示す例の各形態

を伴う経路を認めたが、咬合状態とは無関係であったと述べている。いずれも研究者により滑走を伴う経路の出現率には多少の差があるが、滑走運動の判定基準、被験者の選択基準などが異なるので、これは当然のことであろう。しかし、いずれも著者と同様に閉口時に滑走を伴う経路の出現率が高い。

一方、滑走を認めない立場をとる報告⁶⁻⁹⁾もある。著者の場合にも閉口および閉口運動時のいずれにも空口側方滑走運動路に関与しない、いわゆる Zsigmondy の 3 相²⁾を呈する例が認められた。しかし、その出現率は最も高い米飯で 18.9%、他の食品では約 10% 程度であり、比較的低い出現率であった。

矢状面投影についてみると、歯牙接触部付近で前方に突彎して咬頭嵌合位に達する運動経路を、Shweitzer²⁵⁾は前後的な滑走運動であると述べ、藍¹⁰⁾は側方滑走運動の一部が投影されたものが大部分であったと述べている。著者の場合は閉口運動経路においては側方滑走運動の一部が投影されたものがほとんどであり、閉口運動経路においては立体的にみると図 22 に示すように、側方滑走運動の一部が投影されたもの(A)、側方滑走運動の一部および、さらにその後突彎して開口するもの(B)、滑走運動を伴うことなく前方に突彎して開口するもの(C)の 3 種がみられた。

また水平面投影については、藍¹⁰⁾が指摘したように運動経路の前後的な傾きによって、その経路が異なって観察される。

図 23 食品別移動量の 1 例

3. 食品の影響について

咀嚼とは食物を摂取してから嚥下するまでの口腔および咽頭で行われる生理的な過程をいう¹⁾。食品の影響に関して、Hildebrand⁸⁾はパン・肉を用いて両者に差がないと述べている。多くの研究者は食品による運動経路に違いがあると報告しているが、いずれも運動のパターンや運動経路の一部分に限って計測したものがほとんどであり、前後方向への運動についてまで詳細に検討したものはない。そこで、著者は咀嚼運動経路上に設けた多点の計測部位について、前頭面および矢状面から観察した移動量と運動角度から食品の影響についての定量的な検討を行った。

図 23 は咀嚼運動経路を食品別に示したものの 1 例である。この例についての閉口時の側方移動量をみると、ピーナッツが最も大きな値を示しているが、閉口運動では計測部位による移動量の大きさの順位が異なっている。このように各被験者によって最も大きな移動量を示す食品、あるいは、より前方に位置する食品は異なっており、一定の傾向を認めることができなかった。

そこで被験者を全体として考えた場合の食品による差異を検討することにした。図 24 は各計測部位について、食品による移動量の差異を分散分析法を用いて検討した結果を示したものである。実線は閉口路を、点線は開口路を示している。図中の*印は 5%、**印は 1% の危険率で差が有意であることを示している。閉口時の側方移動量は咬頭嵌合位に近い経路上では米飯・ピーナッツとレーズン・ガムとの間に有意の差を示した。また前後移

図 24 食品と運動経路の関係

動量は米飯と他の 3 食品との間に有意の差を示した。用いた食品の中で最も軟らかい米飯は他の食品に比較して有意に後方に位置する。咬頭嵌合位付近の運動経路について咬合平面に対する側方的開口角度および空口側方滑走運動に対する滑走前路角度をみると、ガム・レーズンではより側方斜めから、空口側方滑走運動路に沿った形で閉じ込むことになる。また咬合平面に対する前後の開口角度をみると米飯では他の 3 食品に比較して、より後方斜めから閉じ込む。これは、食品の硬さと性状が複雑に関与して生じる結果と考えられる。

一方、開口運動経路については、咬頭嵌合位付近に限ると、食品による影響を大きく受ける。すなわち、滑走終了点およびそれに続く下方 7 mm 点までの側方移動量は米飯と他の 3 食品との間に有意の差を示した。最も軟らかい米飯では滑走運動量および側方移動量が小さく、滑走終了点から引き続く運動経路は他の食品より早期に咀嚼側へ移行する傾向があり、また前後的には後方を経過する。また運動経路の角度をみると前後の開口角度に食品による差を認めた。米飯では他の食品に較べて、より後方に開口するが、側方的開口角度には食品による差が認められなかった。

咀嚼時の開口運動経路について、定量的に言及した報告は少ない。滑走運動量について、Suit⁴⁸⁾らは閉口時に 1.3 mm、開口時に 0.9 mm、仁科⁴⁹⁾は閉口時に 0.30 mm~0.66 mm、開口時に 0.05 mm~0.32 mm、水野¹²⁾は閉口時に 1.7 mm、開口時に 1.2 mm の滑走量を認めたと述べている。いずれも閉口時が開口時より大きい値を示している。著者の場合も閉口時で平均 1.20 mm、開

口時で平均 0.69 mm とほぼ同様の結果を得た。他の計測部位についてはほとんど報告がないので、数値の比較は不可能である。

従来の報告に較べて著者の結果は食品による影響が少なく、特に閉口運動経路においては顕著でなかった。これは著者が咀嚼開始直後および嚥下終了前の 5 ストロークを除く咀嚼運動経路を検討の対象としたためと考えられる。

4. 運動経路のバラツキについて

咀嚼運動経路は同一個人、同一食品ではほぼ一定の傾向を示すと報告されている¹⁵⁾。しかし、より一般的な形として把握するためには咀嚼運動経路の空間的なバラツキの様相を定量的に把握する必要がある。

著者は咀嚼ストローク数や移動量が被験者あるいは食品によって異なるため、計測値より算出した標準偏差の値を求めて各人の固有のバラツキとみなした。咀嚼時の経路の左右的および前後のバラツキの程度は個人により差異があるものの、閉口路および開口路ともに咬頭嵌合位より下方に位置するほど値が増加する。閉口路のバラツキは開口路よりも小さかった。

さらに変異係数を求めて相対的なバラツキの程度を閉口運動経路の規則性として検討したが、変異係数の推移の様相はいずれの被験者においてもほぼ同程度であった。咬頭嵌合位より下方 3 mm 点から下方 7 mm 点までは総平均で約 20% とほぼ一定の値を示すが、さらに下方の位置では値が増加する傾向を示した。これはいずれの食品についても同様の傾向であった。川村¹⁷⁾は EMG burst の立上り時点すなわち咀嚼期の顎間距離を測定して総平均で 6.1 mm であったと述べており、田中⁵⁰⁾は咀嚼経路の各頂点から下方 7 mm 前後の顎位で側方力が発生していると述べている。これらを総合すると咬頭嵌合位より下方に 7 mm の位置は閉口経路上の特異点であり咀嚼機能を営むうえでの始発点と考えることができる。

5. 側方滑走運動前頭面投影角度の影響について

藍¹⁰⁾は、咀嚼運動経路は歯牙に大きく影響されるが、側方滑走運動に関与する部分の全体的な範囲と側方滑走運動前頭面投影角度の大きさとの間には関係がなかったと述べている。水野¹²⁾は側方滑走運動前頭面投影角度と咬頭嵌合位より下方 8 mm 点までの閉口経路および下方 3 mm 点までの開口経路を主として前頭面から観察した結果、両者の間には密接な関係があると述べているが、

図 25 空口側方滑走運動前頭面投影角度と運動経路の関係

咬頭嵌合位より下方 3 mm の位置より下方 8 mm の位置に至る途中の運動経路については測定していない。

著者は、歯牙咬合小面の傾斜角度と密接に関係する空口側方滑走運動経路の前頭面投影角度¹⁰⁾と運動経路との関係を三次元的に検討した。側方滑走運動前頭面投影角度は限界運動野の頂点の尖り具合を示すと考えることができるが、側方滑走運動経路の各投影角度の間には前述のごとく一定した関係が存在する(図 6)ので、観察が容易な前頭面投影角度を用いて検討した。

図 25 は側方滑走運動路の前頭面投影角度と咀嚼運動経路における側方移動量および前後移動量との相関の大きさを模式図として示したものである。図中 (一)~(##) の記号は両者の相関係数 (γ) の強さを示すもので、(##): $\gamma \geq 0.7$, (+): $0.6 \leq \gamma < 0.7$, (+): $0.5 \leq \gamma < 0.6$, (一): $\gamma < 0.5$ の 4 区間に区分して示した。実線は閉口路、点線は開口路を示す。閉口路については前頭面投影咀嚼側半角との関係を示している。被験者 17 名の側方滑走運動路の前頭面投影咀嚼側半角 (α) は $38^\circ \sim 70^\circ$ の範囲にあり、 $\alpha < 50^\circ$ (S グループ: 7 名), $50^\circ \leq \alpha < 60^\circ$ (M グループ: 5 名), $\alpha \geq 60^\circ$ (L グループ: 5 名) で、ほぼ均等に存在している。

閉口運動経路について両者の関係をみると、滑走開始点あるいは咬頭嵌合位の下 2 mm 点から下 7 mm 点までの計測部位で非常に高い正の相関を示した。さらに下 11 mm 点までの各計測部位では高い正の相関を示したが、これより下方では相関度が低下した。表 11 は側方滑走運動路の前頭面投影全角と閉口路の側方移動量および前後移動量との相関の大きさ別に区分して示し

表 11 運動経路に及ぼす空口側方滑走運動前頭面投影全角の影響

	移 動 量	
	側 方	前 後
滑開 (2)	+	+
下方 3	+	+
5	+	+
7	+	+
9	+	+
11	-	-
13	-	-
15	-	-
(mm) 17	-	-

たものである。前頭面投影咀嚼側半角の場合に較べると相関度の大きさはやや低下するが、ほぼ同様の傾向である。

閉口時の咀嚼運動経路は側方滑走運動前頭面投影角度が大きいほど、言い換えれば歯牙の咬頭傾斜角度が緩い場合ほど、咀嚼側への側方移動量が増加し、また前方に位置することを示している。さらに、この傾向は咬頭嵌合位に近い位置ほど、咬頭傾斜角度の影響を強く受けると言える。

Beyron⁴⁵⁾は、閉口時の滑走運動量と咬頭嵌合位より下方 3 mm 点の側方移動量を計測して、滑走量は 2.8 mm、下方 3 mm 点の側方移動量は 3.7 mm と述べているが、被験者の咬頭傾斜角が緩く、すべて著者の L グループに属している。著者の成績では、L グループの滑走開始点および下方 3 mm 点の側方移動量はそれぞれ 2.09 mm および 3.56 mm であり、ほぼ同程度の値である。この値を S グループと比較すると滑走開始点で 1.56 mm、下方 3 mm 点で 2.09 mm の差を示し、L グループが著明に大きな値を示している。また閉口時に歯牙の滑走を伴う運動経路の出現率をみると、S と L グループ間に約 28% の差があり、L グループの出現率が高い。これらの運動量あるいは出現率を他の報告と比較すると著者の L グループが特に大きな値を示している。これは被験者の咬頭傾斜角度が大きいためであり当然である。

さらに、側方滑走運動前頭面投影角度と咬合平面あるいは空口側方滑走運動路に対する咬頭嵌合位付近の閉口運動角度との関係をみると、側方的閉口角度および前後的閉口角度には負の相関を、滑走前路角度には正の相関を認めた。これは、閉口運動角度からみても、咬頭傾斜角度が緩い場合ほど、側方かつ前方から斜めに閉口し、空口側方滑走運動路に対してより大きな角度をとって閉

に込むことを意味する。

一方、開口時の側方移動量および前後移動量、さらに開口角度と側方滑走運動前頭面投影角度との間にはすべて有意の相関関係は認められなかった。これは、咀嚼時の開口運動経路は歯牙の咬頭傾斜角度の影響を受け難いことを意味する。

Taylor⁵¹⁾らは筋紡錘からの強力なフィードバックが咀嚼サイクルの開口相に生ずることを発見した。咀嚼サイクルの開口相に閉口筋が伸張されると筋紡錘は活発に反応するが、閉口筋自体は全く活動せず、逆に閉口筋が弛緩している時期に閉口筋運動ニューロンを興奮させる筋紡錘から強力なフィードバックが生ずると報告されている⁵²⁾。閉口筋がその神経筋機構に依存して調節されているとすれば、閉口筋自身の神経筋機構により調節される開口運動に、閉口運動時にみられた咬頭傾斜角度との関係が認められないことは当然とも言える。しかし、咀嚼運動には他の種々の因子が複雑に関与していることは事実であり、単に筋肉という一面からだけで推測するには問題もあろう。

V. 結 論

健全有歯顎者 17 名を被験者として、咀嚼時の一連の動作としての閉口および開口運動経路を三次元的に測定して、咀嚼運動の定量的な検討を行い、以下の結論を得た。

なお、一連の操作過程を含む実験精度は 0.15 mm であり、試験食品には、米飯、レーズン、ピーナッツ、ガムの 4 種を用いた。

1. 閉口および開口運動経路の側方移動量と前後移動量の平均値と標準偏差値により、咀嚼運動経路を一般的な形として表現し得た。

2. 運動経路に及ぼす食品の影響は、閉口運動経路より開口運動経路に強くあらわれ、その影響は咬頭嵌合位に近い位置ほど大きい。

3. 空口側方滑走運動前頭面投影角度と閉口運動経路の側方移動量および前後移動量との間に強い正の相関関係を認めた。この関係は咬頭嵌合位より下方に進むほど相関度が低下するが、13 mm を過ぎると相関を示さなくなる。

これは、空口側方滑走運動の前頭面投影角度が大きいほど、前方かつ側方を経過して閉口することを意味する。

4. 空口側方滑走運動前頭面投影角度と側方的閉口角

度および前後の閉口角度との間に負の相関関係を認めた。また滑走前路角度との間に正の相関関係を認めた。

これは、空口側方滑走運動の前頭面投影角度が大きいほど、咬合平面に対しては、左右的にも前後的にも小さな角度で閉口し、空口側方滑走運動路に対しては大きな角度で閉口することを意味する。

5. 空口側方滑走運動前頭面投影角度と開口運動経路の側方移動量と前後移動量および開口運動角度との間には有意の相関関係を認めなかった。

これは、閉口時の運動経路は空口側方滑走運動前頭面投影角度の影響を受け難いことを意味する。

6. 咀嚼運動経路のパラツキの程度は、閉口運動経路の方が開口運動経路より小さい。また、その値は咬頭嵌合位から下方に進むほど大きい。さらに、空口側方滑走運動前頭面投影角度が大きいほど、その値が大きくなる。

7. 閉口運動経路の規則性を変異係数で示すと、咬頭嵌合位より下方 3 mm から下方 7 mm まではほぼ一定の値(約 20%)を示すが、それより下方では値が増加する。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました川口豊造教授、ならびに種々ご教示とご助言を賜りました平沼謙二教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究にご協力を下さいました被験者の皆様、補綴学教室員各位ならびに大学院諸氏に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 河村洋二郎：口腔生理学，158～163，永末書店，京都，1973。
- 2) Zsigmondy, O.: Über die Bewegungen des Unterkiefers beim Kauakt, Österr. Z.f. Stomat., 10: 175～184, 1912.
- 3) 石原寿郎，藍 稔：下顎運動と咬合器（その 23 Zsigmondy とその後の咀嚼運動の研究について），日本歯科評論，269: 30～37，1965。
- 4) Gysi, A.: Artikulation, Handbuch der Zahnheilkunde, Bd. 3, Bluhm, J.F. Bergman (München), 167～316, 1926.
- 5) 中沢 勇：下顎運動の補綴学的研究，有歯顎の運動，口病誌，13: 81～98，1939。
- 6) Jankelson, B. et al.: The physiology of the stomatognathic system, J. Am. Dent. Assoc., 46: 375～386, 1953.
- 7) 辛島清澄：咀嚼初期における下顎運動路の精密測定，九州歯会誌，14: 400～417，1960。

- 8) Hildebrand, G.Y.: Studies in the masticatory movements of the human lower jaw, *Scand. Arch. f. Physis., Suppl.* 61: 1~190, 1931.
- 9) Kurth, L.E.: Mandibular movements in mastication, *J. Am. Dent. Assoc.*, 29: 1769~1790, 1942.
- 10) 藍 稔: 切歯点部における咀嚼運動の解析, 補綴誌, 6: 164~200, 1962.
- 11) 大石司郎: アーム型運動分解器とコンデンサー法による下顎運動の研究 第2報 側方滑走運動ならびに咀嚼運動の水平面投影に関する考察, 補綴誌, 7: 196~205, 1963.
- 12) 水野起良廣: 咬頭嵌合位付近の咀嚼運動経路に関する研究, 愛院大歯誌, 17: 259~283, 1980.
- 13) 加藤信次: 顎関節機能障害患者の切歯点における咀嚼運動について, 歯科医学, 41: 117~146, 1978.
- 14) 小川松彌, 他: 開口量に関する研究 第1報 食生活の調査から, 補綴誌学会抄録, 22: 218~219, 1978.
- 15) 根本一男: 有歯顎の下顎切歯点における3次元的運動限界の研究, 補綴誌, 6: 1~40, 1962.
- 16) 遠藤義弘: 臼歯部における咀嚼時の下顎運動と咀嚼力の発現様相との関係についての実験的研究, 歯科学報, 71: 1671~1711, 1971.
- 17) 川村貞行: 咀嚼時の下顎切歯点の前頭面運動について, 歯科医学, 36: 61~89, 1973.
- 18) Klineberg, I.: Influences of temporomandibular articular mechanoreceptors on functional jaw movements, *J. Oral Rehabil.*, 7: 307~317, 1980.
- 19) 河村洋二郎: 顎運動研究の最近の動向, 歯界展望, 33: 13~20, 1969.
- 20) 鶴美 弘: 顎運動の研究 (第2報) 下顎骨側方運動の観察, 歯科学報, 53: 577~586, 1953.
- 21) Gysi, A.: The problem of articulation, *Dent. Cosmos.*, 52: 1~19, 1910.
- 22) 真柳昭紘: 側方滑走運動における顎頭運動に関する研究, 補綴誌, 14: 158~182, 1970.
- 23) Sönstebö, H.R.: C.E. Luce's recordings of mandibular movements, *J. Prosthet. Dent.*, 11: 1068~1073, 1961.
- 24) Shanahan, T.E.J.: Mandibular and articulator movements, *J. Prosthet. Dent.*, 9: 941~945, 1959.
- 25) Schweitzer, J.M.: Masticatory function in man, *J. Prosthet. Dent.*, 11: 625~647, 1961.
- 26) 佐々木義郎: 頭部計測用写真装置を利用した下顎運動経路の解析法, 九州歯会誌, 13: 898~909, 1960.
- 27) Berry, H.M. et al.: Cineradiographic observations of temporomandibular joint function, *J. Prosthet. Dent.*, 9: 21~33, 1959.
- 28) 加藤吉昭: ストロボ撮影法による下顎運動, 殊に補綴学的見地からみた運動に関する研究, 日大医誌, 19: 1451~1487, 1960.
- 29) 坂東永一, 他: 写真撮影による下顎運動測定法, 補綴誌, 23: 677~690, 1979.
- 30) 川口豊造, 他: V.T.R. 装置の計測への応用について, 補綴誌, 24: 48~53, 1980.
- 31) 大石司郎: アーム型運動分解器とコンデンサー法による下顎運動の研究 第1報 測定装置について, 口病誌, 29: 164~180, 1962.
- 32) 川口豊造: 電氣的測定装置による習慣的閉口運動および嚥下運動時の歯牙接触位に関する研究, 補綴誌, 12: 398~423, 1968.
- 33) Messerman, T.: A means for studying mandibular movements, *J. Prosthet. Dent.*, 17: 36~43, 1967.
- 34) Jankelson, B. et al.: Kinesimetric instrumentation: a new technology, *J. Am. Dent. Assoc.*, 90: 834~840, 1975.
- 35) Lemmer, J. et al.: The measurement of jaw movement. Part I, *J. Prosthet. Dent.*, 36: 211~218, 1976.
- 36) Honée, G.L.J.M. et al.: A method for jaw movement registration, *J. Oral Rehabil.*, 1: 217~221, 1974.
- 37) 三浦不二夫, 他: XY-tracker を利用した新しい顎運動記録装置について, 口病誌, 43: 177~183, 1976.
- 38) 木竜 徹, 他: 下顎運動の診断のための測定および処理システム, 医用電子と生体工学, 18: 27~33, 1980.
- 39) Karlsson, S.: Recording of mandibular movements by intraorally placed light emitting diodes, *Acta Odontol. Scand.*, 35: 111~117, 1977.
- 40) 田原邦昭: 3次元変位計による咀嚼運動の切歯点における解析, 歯科学報, 74: 1810~1845, 1974.
- 41) 戸田外穂: 各種食品咀嚼時の下顎切歯点の水平面運動の解析, 歯科医学, 33: 10~32, 1970.
- 42) 川畑 衛: 各種食品咀嚼時の咀嚼筋の積分筋電図について, 歯科医学, 32: 453~486, 1969.
- 43) Dahlberg, B.: The masticatory habits. An analysis of the number of chews when consuming food, *J. Dent. Res.*, 25: 67~72, 1946.
- 44) Kawamura, Y. et al.: Studies on masticatory function. II. The swallowing threshold of persons with normal occlusion and malocclusion, *Med. J. Osaka Univ.*, 8: 241~246, 1957.
- 45) Beyron, H.: Occlusal relations and mastication in Australian aborigines, *Acta Odontol. Scand.*, 22: 597~678, 1964.

- 46) Gillings, B.R.D. et al. : Jaw movements in young adult men during chewing, J. Prosthet. Dent., 29 : 616~627, 1973.
- 47) Adams, S.H. et al. : Functional tooth contacts in lateral and in centric occlusion, J. Am. Dent. Assoc., 69 : 465~473, 1964.
- 48) Suit, S.R. et al. : Study of gliding tooth contacts during mastication, J. Periodontol., 47 : 331~334, 1976.
- 49) 仁科隆実 : 咀嚼運動形式の EMG 的特徴について, 歯科医学, 42 : 1~27, 1979.
- 50) 田中貴信 : 頬舌側側方咬合力について, 補綴誌, 16 : 321~349, 1973.
- 51) Taylor, A. et al. : Analysis of activity of muscle spindles of the jaw-closing muscles during normal movements in the cat, J. Physiol., 253 : 565~582, 1975.
- 52) Goldberg, L.J. : 神経-筋制御におけるフィードバック一歯学におけるその意義について, 日本歯科評論, 440 : 189~197, 1979.