

捕食量による咀嚼運動の相違に関する研究

新潟大学大学院医歯学総合研究科 口腔生命科学専攻

口腔健康科学講座 小児歯科学分野

切手 英理子

緒 言

捕食から咀嚼を介して嚥下にいたる摂食動作は栄養摂取の一動作であり、生きていくために不可欠な基本的動作である。そのため、これまでも捕食と咀嚼回数の関係(1, 2)、捕食のスピードと肥満の関係(3, 4)、咀嚼時の習慣性咀嚼(5, 6)、咀嚼機能と肥満の関係（BMI）(7)など数多くの研究が行われてきた。この摂食行動は、生直後の哺乳から乳歯列の萌出に伴う離乳食の時期に学習が開始され、乳歯列が完成する 3 歳の頃には一様の完成をみるとされている(6, 8)。ヒトの一生を考える時、この時期に獲得された様式は、永久歯列への交換により学習を重ね、その完成をみる 15 歳頃には習熟された機能が伴うこととなる(9, 10)。一方で高齢になると、歯をはじめとする解剖学的要素の喪失、加齢に伴う全身的、局所的機能の低下とともに、顎口腔機能の一部である摂食機能も低下を余儀なくされる。歯科医療全体を鑑みるに、近年我が国における超高齢化社会の到来も相まって、このような加齢変化へ対応するための臨床研究、すなわち機能回復（リハビリテーション）(11-13)やそれに適したインプラント(14)、義歯(15)、顎補綴(16)等、についての進展は目を見張るものがある。

摂食は、捕食、咀嚼、嚥下の大きく 3 つに分けられる。この 3 者は一連の動作であり、その開始である捕食と同時に、通常無意識下で進行す

ることが多く、最後の嚥下には反射も関与している。しかし、この一連の動作は多くの異なる器官が関与し、動作の対象となる食物が視認できなくなり、その性状を変えることから、全てのステップをトータルで観察することは事実上不可能と言わざるを得ない(17)。従って、これまではこの3つに焦点を当て個別の動作、現象として研究がなされることが多かったが、特に咀嚼から嚥下の連続した動作は、機能異常の1つとしての誤嚥が障害のある小児(18-20)や高齢者(21-23)に頻度が高く、それが誤嚥性肺炎を招いた際には、時として致命的であることから、歯科の中でも重要な研究テーマとなっており、これらが捕食方法に左右されることも明らかにされつつあるため(24)、臨床的な対応も視野に入れた研究がなされている(13, 25-27)。しかし、1回の捕食量の違いがその後の咀嚼にどのような影響をもたらすのかを運動として解析した報告は限られている。

歯科医療が「歯と口腔にかかわる病気を治す行為」であり、病気の定義が「機能異常と疼痛」であることを考慮すれば(28)、歯科医療が顎口腔機能を議論の中央に置き、病的状況、例えば上述の高齢者における顎口腔機能の状態を議論する礎として、正常健常者の顎口腔機能を明らかにすることは、病的状態を診断するために必要不可欠な過程である。現在もそしてこれまでも、顎口腔機能に関する診断方法が、高度先進医療に指定され

たり、一部保険に導入された背景はこれらの理由によるものと思われる。

しかし、残念なことに、これらは多くの診療室における日常診療の一部として定着することは難しく、限られた時期、限られた場所、限られた対象（患者）のものであると言わざるを得ない。この状況の要因は、1）顎口腔機能の検査方法に必要な機器が特殊で、かつ普及数から相対的に高額であること、2）機能検査がその環境を含め、必ずしも被験者の日常機能ではないこと、3）機能検査を用いた診断の基準が明確でないこと、4）診断が治療の方針とどの程度の因果関係があるか明らかでないこと、などが考えられる。これらの状況から、顎口腔機能計測に必要なことが逆説的に見えてくる。すなわち、1）特別な機器を要しない計測方法であること、2）計測する機能が被験者にとって日常の機能であること、3）計測環境が被験者にとって可及的に日常であること、4）検査の結果が診断となる基準と比較できること（データの集積がなされること）、5）診断が治療方法に反映できること、などである。とはいえ、これらの問題が一朝一夕に解決できるわけではないが、その一歩として、1）～3）が可能となれば 4）のデータ集積が可能になる。これまでに述べたように、顎口腔機能の中でも最も重要な 1 つと考えられるヒトにとって不可欠な動作である摂食動作について、診療室や施設等において、検査（計測）を受ける者が、例え小児や高齢者であ

ってもストレスなく行える検査方法を用いてデータを集積し、捕食、咀嚼、そして嚥下について検討を加える必要がある。

そこで今回捕食量の違いがその後の咀嚼にどのような影響をもたらすのかを検討すべく、咀嚼開始から嚥下するまでの一連の運動を観察する過程を家庭用デジタルビデオカメラを用いたモーションキャプチャーを利用することを前提として、捕食量による運動の変化を検討することとし、次の2つの仮説を立てた。

1. 捕食量が異なると咀嚼の様相は異なる。
2. 捕食量が異なっても、最終嚥下直前の咀嚼の様相は変化しない。

方 法

被験者

被験者は、第三大臼歯以外に歯の欠損を認めず、顎口腔機能に異常を認めない一般女性20名（女性：平均年齢：27歳4か月）とした。研究に先立ち、被験対象者には、研究内容と主旨を文書および口頭によって十分に説明し、同意を得た後に実験を行った。なお、本研究は新潟大学歯学部倫理委員会の承認（承認番号：25-R21-10-02）の下で行った。

計測システム

計測には2台の家庭用デジタルビデオカメラ SONY社製 AX100(動画有効画素数1,420万画素。東京)を用いた。この2台の家庭用デジタルビデオカメラが、被験者の前方方向から、それぞれ光軸60度、被験者からの撮影距離が150cm程度、そして撮影軸が可及的に床面と平行になるように設置した(図1)。

家庭用デジタルビデオカメラの動画は、30fps (frame per second) における静止画の連続撮影である。2台の家庭用デジタルビデオカメラから同期した連続画像をDipp-Motion V/3Dソフトウェア (Ditect社：東京)を用いて三次元運動解析を行った。計測に先立ち一辺が30cmのワイヤーフレームの頂点に反射材を付与したものをを用いてキャリブレーションを行った。被験者の特定の部位に貼付した反射材の運動軌跡を2台の家庭用デジタルビデオカメラにより追尾することにより、被験者のその部位の三次元的運動軌跡を求めた。

被験者は図2に示す通り、2種類の反射材マーカを頭部および体躯に貼付した。特に頭部の帽子に貼付したマーカは図3に示す点Oを原点とし、それを頂点とする三角形を用いて頭部に基準座標系を設定し、頭部に対する Pogonion (オトガイ部: 図3) の運動を研究対象とした。

これまでの咀嚼運動を含めた下顎運動に関する研究の多くは、三次元的な運動を咬合平面を基準に設定していることが多い。そこで、図3に示す基準座標系を咬合平面付近に設定することとし、咬合平面に対し垂直方向が上下方向になるよう改めて座標系を設定した。

被験運動

被験運動は米飯の自由咀嚼から最終嚥下にいたる運動とした。米飯の重量は 5g, 10g, 20g の 3 種類とし、それぞれ球状に形態を整えた（図 4）。これらを舌上に乗せた後、咬頭嵌合位を開始顎位とする自由咀嚼・自由嚥下を指示した。咀嚼開始の指示は験者が指示し、咀嚼を経て、最終嚥下が終わった時に被験者自ら手を挙げて知らせるよう指示した。3 種類の米飯量の計測の順番は乱数表を用い被験者毎にランダムとした。

計測中、被験者は通常の椅子に腰掛け、背中は可及的に背もたれに、両足底面は床面につけさせ、太ももが座面から浮かないように指示した。頭部は計測中、可及的にフランクフルト平面が床とほぼ平行になるように指示した（図1）。被験者が測定環境に順応してから、空口下において数回摂食する動作の練習を行なわせた後に計測を開始した。

解析項目

咀嚼運動の開始から最終嚥下直前までの Pogonion の運動を下顎運動

として観察すると、上下方向を中心としたサイクリックな運動である。すなわち、横軸を時間軸、縦軸を座標値として作成したグラフにおいて、時間経過とともに座標値が増減を繰り返す波形となる（図 5）。この一連の運動は、咀嚼の開始から始まり、嚥下や食塊を左右に移す動作などが混じり、最終嚥下を行った段階で記録を停止している。咀嚼運動はこの一連の上下方向の座標値が増減する運動において、最上方を示す時間から 1 つのピークを超えて次の最上方を示す時間を 1 サイクルと定義し分割した（図 6）。

時間的解析項目は、咀嚼開始から最終嚥下までの時間、サイクル数、1 サイクルの平均時間、の 3 項目とした。また、Pogonion の移動距離解析項目は、サイクルの上下、左右、前後および三次元距離とした。また、これらの変化について、初期咀嚼サイクルと最終咀嚼サイクル（最終嚥下直前の開閉口運動）、米飯のグラム数で比較するとともに、時間経過に伴ってどのように変化したかを比較した。

初期咀嚼サイクルから最終咀嚼サイクルの変化は、必ずしも一定の変化ではなく、また時間的解析項目は個人、米飯の量により異なることから、直接比較検討できる項目は限られる。一方で経時的変化を数式で表現し、比較することは視覚的にも有効である。そこで、被験者毎、米飯量毎に異なる初期咀嚼サイクルから最終咀嚼サイクルまでを 100% とし、各サイクル

に%を与え、統計的に有意な指数関数グラフで表現するとともに、米飯量間で比較した。

統計解析

記述統計には ANOVA、Scheffe の多重比較法 (IBM SPSS ver.10、IBM、東京) を用いた。咀嚼の進行に伴う経時的変化は曲線を描記する解析となるため、単独のデータとして統計解析することはできない。従って階層構造を有するデータの統計解析にその有効性を推奨されている Multilevel Model Analysis (解析ソフトウェア MLwiN: University of Bristol, UK) を用いた。統計的有意差は危険率 5%以下を有意とした。

結 果

時間的要素 (表 1)

咀嚼開始から最終嚥下までに要した時間は、5 g, 10 g, 20 g と米飯の量が増加するに従い統計学的に有意に延長した。しかし、その延長量は米飯量に比例するのではなく、5g-10g 間では 8.1 秒の延長、10g-20g 間では 11.9 秒の延長であった。米飯 5 g のサイクル数は 22.3 回であったが、10 g、20 g は 34.5 回、49.1 回であり、米飯量が増加すると 12.2 回 (5 g → 10 g)、14.6 回 (10 g → 20 g) とそれぞれ統計学的に有意に増加した。1 サイクルの時間

は、初期咀嚼サイクルでは、いずれの米飯量において 0.89～0.91 秒/サイクルであった。しかし、最終咀嚼サイクルの時間は、5 g では 0.78 秒/サイクル、10 g では 0.91 秒/サイクル、20g では 1.03 秒/サイクルと米飯量の増加に伴い延長した。

三次元距離について（表 2、表 3）

各米飯量における Pogonion の初期咀嚼サイクルおよび最終咀嚼サイクルの各方向の移動距離を表 2 および表 3 に示した。全体として、1) 米飯量が増加すると各方向の移動距離も増加していた、2) 移動距離は上下、前後そして左右の順に大きかった、3) 初期咀嚼サイクルよりも、最終咀嚼サイクルの移動距離が小さかった。統計学的に有意差が認められたのは初期咀嚼サイクルでは、上下方向では 10g - 20g, 5g - 20g, 左右方向では 10g - 20g, 5g - 20g, 前後方向では 5g - 20g であった。一方、最終咀嚼サイクルでは、上下方向の 5g - 10g, 5g - 20g, 左右方向では有意差は認められず、前後方向では 5g - 10g, 5g - 20g において有意差が認められた。

移動距離の経時的曲線について（図 7~9）

図 7~9 に米飯量毎の Pogonion における 20 名の被験者の平均上下、左右、前後の移動距離の経時的指数関数曲線を示した。また、表 4~6 にこれらの指数関数における係数を示した。なお、この 3 種類の米飯量の 3 方

向の曲線は互いに統計学的に有意な差を認めた。

上下運動量の変化（図 7）では、Pogonion の上下移動距離は、特に 20g が他の 2 つの米飯量のものに比べ大きかった。また、20g と 5g の減少の傾向は類似していたが、10g は異なる変化を示していた。左右の移動距離の変化では、上下方向と同様に 20g が他の 2 つの米飯量のものに比べ大きく、20g と 5g の減少傾向は類似していた。一方で、10g は一次式となったため直線的な減少を示した。前後の移動距離は、20g が常に 5g, 10g よりも大きな値で推移しており、それぞれが異なる形状を示した。10g が二次式で最下点がほぼ 50%に位置していた。

考 察

仮説について

本研究は、次の 2 つの仮説を立てた。

仮説 1：捕食量が異なると咀嚼の様相は異なる。

5g の米飯を 4 回摂食すれば栄養的には 20g の米飯と同じである。しかし、1 回の捕食量が多いことは肥満との関連が指摘されており、ヒトの咀嚼運動が捕食量により変化していることが推察される。図 7~9 から、捕食量（米飯量）が異なると指数関数のグラフは各方向において、初期咀嚼か

ら最終嚥下直前に至るまで似たような線を描くことはあっても、完全に重なることはないため、捕食した米飯量により特有な曲線を描くということが認められる。すなわち捕食量が異なると咀嚼の様相は異なることが示された。

仮説2：捕食量が異なっても、最終嚥下直前の咀嚼運動の様相は変化しない。

Pogonionの移動距離（図7~9）は、捕食量（米飯量）が一口量より大きい20gの場合、一口量より小さい5gの場合より初期咀嚼から最終嚥下直前まで一貫して三次元的に大きな運動をしていた。表2,3 においても同様の結果であった。捕食量が異なっても最終嚥下直前のPogonionの移動距離が同じであれば、推察の範囲を超えないが、それは咀嚼の間に数回の嚥下を行うことにより、最終嚥下の量が一定であることを意味する可能性がある。逆に今回の結果、すなわち最終嚥下直前の運動量が捕食量によって異なることは、同一被験者において最終嚥下を行うタイミングは、口腔内で咀嚼され存在する食塊の量とは異なる生理的な基準（例えば嚥下に適した食塊の性状）があることを意味する。従って、量によって運動量が異なったとしても、嚥下可能な食塊の性状であれば運動によらず嚥下できることになる。もし、流動食や離乳食がすでに嚥下可能な食塊の性状であれば、咀嚼運動は不要であり、実際そのように認識されている。一方で、例えば5粒程度の米飯を捕食した場合、

その量と性状は離乳食より嚥下しにくいものではない。しかし、健常者は咀嚼せずに、いきなり嚥下を行うことはなく、実際は咀嚼を行うが、その咀嚼の目的が5粒の米飯を適度に粉碎することのみにあるとは考えられない。寿司一貫はおよそ400粒、20gの米飯とされているが、ネタを含めて数回の咀嚼で嚥下に至る。このように考えると、2つ目の仮説とは異なり、捕食量が異なると、最終嚥下直前の咀嚼の様相は変化することが、今回の結果で明らかとなるとともに、健常者の食習慣からも推察できる。表1にあるように、最終嚥下直前のサイクル時間が捕食量によって異なることは、最終嚥下量が捕食した米飯量に比例して大きく、捕食量＝最終嚥下量に有意性があることを示唆している。捕食量によって途中の咀嚼に関わらず最終嚥下量が多く、また時間やサイクル数が直線的な比例関係にないことから、嚥下直前の食塊の性状は、捕食量が多い程、捕食した時の原型に近いことが推察される。

これらのことから、捕食量は以後の咀嚼運動および嚥下運動に少なからず影響を与えることが明らかとなった。今回の結果において、最終嚥下直前のPogonion の上下移動距離は捕食量が多い程、大きくなっていたことから最終嚥下時の食塊量も多いと推察される。成人を対象とした村山らの研究によれば(29)、魚肉ソーセージの一口量、1/2量、2倍量を自由咀嚼後、嚥下直前で吐き出させ粒子分布を確認したところ、2倍量では一口量や1/2量に比べ有

意に大きな粒子が多かった。従って、「1回の捕食量が多い = 十分に咀嚼されない + 最終嚥下の量が多い = 丸のみ」を示唆すると考えられる。

システムについて

今回用いたモーションキャプチャーは、頭部顔面、下顎ならび体躯にマーカーである反射材を貼付した。また、Pogonion 以外のマーカーについての解析は着手できていないが、「咀嚼＝下顎の動き」だけではなく、特にモーションキャプチャーを用いた摂食動作の解析では、口唇周囲の動きを観察した報告もある。しかし、この口腔周囲の運動と、今回計測した Pogonion に代表される下顎の動きの関係は明らかになっていない。一方、咀嚼や嚥下の動作を口唇周囲の動きからとらえる試みも散見され(30)、今回マーカーを貼付している体躯との協調運動についても興味深く、今後、この点についての解析を行いたい。

モーションキャプチャーは、咀嚼や嚥下の運動に限らず、数多くのヒトの運動に用いられている。これは緒言で述べたように小型軽量なマーカーを被験者（あるいは物体）に貼付すれば、それ以外の侵襲がなく軽量であることが最も大きな特徴で、例えその運動にスプーンなどの食具の使用が加わっても容易にその運動も解析の対象とできるところにある。一方、その短所（一部家庭用デジタルビデオカメラを想定）は、1) 三次元運動の解析には少

なくとも2台以上のカメラが不可欠であること、2) 2台以上のカメラで同時観察ができない反射材は「死角」となること、3) 家庭用デジタルビデオカメラでは30fpsという制限があることから、早い運動の計測には不向きであること、4) 動画の解析は、30fpsの静止画像1枚1枚における反射材の認識を行って三次元的な運動とすることから、その認識がソフトウェアの性能に左右され、時として運動の追尾に時間を要すること、などが挙げられる。しかし、今回用いたモーションキャプチャーのシステムは、緒言に述べたように、これまでの咀嚼運動等を計測する際に用いられてきた手法に比べて明らかな利点もあることから、短所を理解した上で用いれば有用であることは、今回の研究でも明らかである。

このように、顎口腔機能を計測しようとする試みは、枚挙に暇がない。特に下顎運動については、1970年代から始まった6自由度顎運動計測装置の開発を手掛けた、Gibbs(31)、Wickwire(32)らから始まり、彼らに代表されるような光学的、機械的な下顎運動に特化した精密な計測システムが歯学に与えた影響は計り知れない。同種の装置は日本国内でもいくつか開発され、その幾つかは市販されるに至った。特に、TRIMET(8, 33, 34)、ナソヘキサグラフ(35, 36)などは、顎運動の解明に大きな発展をもたらした。近年の報告では精密な計測よりも被験者に受け入れられやすいものも多く、中でもSazonovらの

グループの近年の取り組みは特筆に値する。彼らは咽頭部に嚥下音センサー、耳下部に咀嚼を感知するための歪センサーを用いて、非侵襲性のモニターを開発し(37)、固形や液体の摂食の計量を可能であることを示すとともに(38)、日常生活に利用できることを示している(39)。近年では、捕食時の手の動きを認識したり(40)、スマートフォンを利用して(41)、睡眠時以外の全ての時間における摂食行動の観察をも可能にしている。しかし、この手法においても、固形食や液体の認識等に問題が存在し、またデータを採取する時間が長くなってしまったため、極めて膨大なデータから目的となるデータを抽出することは必ずしも容易ではない。今後は目的が何かを明確にした上で合目的で簡便な計測システムが求められる。

1回の米飯量について

今回被験食品とした米飯の量は、5g,10g,20gとした。以前当分野で行った、成人女性が被験者自らスプーンを用いてカレーライス300gを完食した研究における1回の捕食量は、最初の数回は13g程度で推移し、食事が進むと漸減し平均すると11.96gであった(42)。また、猪子らが行った成人女性における米飯の自由摂食の報告では1回捕食量は11.8gであり(7)、前述の魚肉ソーセージをかじった村山の報告では8.31gであった(29)。従って、本研究で用いた10gは1回捕食量として平均的な量であり、5gはその半分、20gは倍の量に相当

する。米飯20gは寿司一貫の米飯量であり、女性の被験者にとっては一口量としては多い量と考えられる。

1回の捕食量を少なくすることは、食事時間の延長を促すことになり、相対的に満腹中枢への刺激到達が容易になることから(43)、必然的に摂取カロリーの低下につながると推察され、成人においても(44)、小児においても(45)肥満対策の1つと考えられている。一方、Mattesらはガム咀嚼が肥満のヒトを対象として血清やホルモンに満腹を促すような影響を与えなかったと報告しており(46)、咀嚼様運動だけでは満腹感を味わうことができず、摂食が栄養摂取の手段であることを考慮すれば、総摂食量（エネルギー量）が最も大切な要素であることは当然である。しかし、本研究の結果から前述の通り1回の捕食量が多いと、結果的に短時間に十分な咀嚼をせずに嚥下に至ることが示唆されることから、1回の捕食量を減量することは、肥満対策の1つと考えられることが本研究でも示唆された。

今回の研究を通して、1回の捕食量にかかわらず最終嚥下の前、すなわち咀嚼途中で行われる嚥下が観察された。実際に嚥下される食塊の一部は、どのような段階、性状になったものが、どの程度嚥下されるのか、また逆に食塊の中でどうなっていないものが嚥下されないのか、さらにはどの程度の量、という調節が如何に働いているのか、これらについての定説的な知見は

見当たらない。また、最後に一塊として嚥下されるものも含めて極めて興味深い。

また今回の結果で最も興味深かった結果の 1 つは、3 方向の曲線を見てみると（図 7~9）、10g は上で述べた通り最も成人女性の通常の一口量に近い量にもかかわらず、それ以外の 2 つの量である 5g と 20g とは異なる傾向を示していた。20g は日頃慣れていない一口量と考えることができるが、5g は一口量の半分の量であることから、日常の食生活でも珍しくない量と考えられる。逆に 10g が一口量として適切であるがゆえに、被験者個人が個性的な運動を有している可能性もある。今後、更なる検討が必要である。

結 論

基本的動作の一つである摂食動作の解析を、験者にも被験者にも配慮した方法として、家庭用ビデオカメラと食べ慣れている米飯を用いて計測を行った。計測は成人女性 20 名を被験者とし、5g,10g,20gの米飯の自由咀嚼・自由嚥下を行う過程を家庭用ビデオカメラ 2 台で動画として撮影し、Pogonion の運動を下顎運動として解析を行い、下記の結論を得た。

1. 米飯の量が異なると咀嚼開始から最終嚥下直前まで Pogonion の運動量は異なることから、「捕食量が異なると咀嚼の様相は異なる」ことが示された。

2. 米飯の量が異なると最終嚥下直前の Pogonion の運動量も異なることから、「捕食量が異なると、最終嚥下直前の咀嚼の様相は変化する」ことが示され、さらには最終嚥下を行うタイミングは咀嚼後に形成された食塊の量ではない生理的な基準がある可能性が示唆された。
3. 米飯量が多いほど最終嚥下直前の運動量が多いことから、1 回の捕食量が多いと最終嚥下時の食塊の量も多く、十分に咀嚼されないまま嚥下され、それが肥満につながる可能性が示唆された。
4. 咀嚼開始から最終嚥下直前までの米飯量 10g の Pogonion の上下、左右の移動距離は、5g,20g とは異なる傾向を示したことから、日頃食べ慣れている量の咀嚼には個々に個性的な特徴がある可能性が示唆された。
5. 家庭用ビデオカメラを用いた計測でも、一定の解析結果を提示できたため、今後改善すべき点は多々あるが、日常の臨床の場においても機能評価の一環として用いることができる可能性が示唆された。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、終始懇切丁寧なご指導を賜りました新潟大学大学院医歯学総合研究科小児歯科学分野 早崎治明教授に心から感謝申し上げます。

また、本研究を遂行するにあたりご指導、ご協力いただきました新潟大学大学院医歯学総合研究科小児歯科学分野 齋藤一誠准教授、大島邦子講師、中島努先生、ならびに おく小児矯正歯科 奥猛志院長とスタッフの皆様に厚くお礼申し上げます。

参考文献

1. 大岡 貴史, 高橋 摩理, 渡邊 賢礼, 内海 明美, 向井 美恵. 捕食動作が摂食・嚥下機能に与える影響の検討(第一報) 捕食から嚥下までの口唇運動について. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌. 2010;14(3):435.
2. Kravchenko A, Weiser A, Hugger S, Kordass B, Hugger A, Wanke E. Variability and reliability of muscle activity measurements during chewing. Int J Comput Dent. 2014;17(1):21-33.
3. Stock S, Miranda C, Evans S, Plessis S, Ridley J, Yeh S, et al. Healthy Buddies: a novel, peer-led health promotion program for the prevention of obesity and eating disorders in children in elementary school. Pediatrics. 2007;120(4):e1059-68.
4. Rodriguez-Flores M, Garcia-Garcia E, Cano-Nigenda CV, Cantu-Brito C. Relationship of obesity and insulin resistance with the cerebrovascular reactivity: a case control study. Cardiovascular diabetology. 2014;13:2.
5. Barcellos DC, Goncalves SE, da Silva MA, Batista GR, Pleffken PR, Pucci CR, et al. Prevalence of chewing side preference in the deciduous, mixed and permanent dentitions. The journal of contemporary dental practice. 2011;12(5):339-42.

6. Barcellos DC, da Silva MA, Batista GR, Pleffken PR, Pucci CR, Borges AB, et al. Absence or weak correlation between chewing side preference and lateralities in primary, mixed and permanent dentition. *Arch Oral Biol.* 2012;57(8):1086-92.
7. 猪子 芳美, 清水 公夫, 近藤 大輔, 西川 良彦, 渡邊 文彦. 健常若年者の米飯一回摂取量およびその倍量が咀嚼に及ぼす影響. *日本咀嚼学会雑誌.* 2013;23(1):17-23.
8. Yamada-Ito C, Saitoh I, Yashiro K, Inada E, Maruyama T, Takada K, et al. Smoothness of molar movement during gum chewing in children with primary dentition. *Cranio.* 2013;31(4):260-9.
9. Widmer CG, English AW, Morris-Wiman J. Developmental and functional considerations of masseter muscle partitioning. *Arch Oral Biol.* 2007;52(4):305-8.
10. Changsiripun C, Yabushita T, Soma K. Differences in maturation of the jaw-opening reflex between rats that received early-and late-masticatory stimulation. *J Oral Rehabil.* 2012;39(12):879-87.
11. Nakamura Y, Hatakeyama A, Kitada Y, Tsujimura T, Taniguchi H, Inoue M. Effects of pharyngeal water stimulation on swallowing behaviors in healthy humans. *Experimental brain research.* 2013;230(2):197-205.
12. Tsuji K, Tsujimura T, Magara J, Sakai S, Nakamura Y, Inoue M. Changes in the frequency of swallowing during electrical stimulation of superior laryngeal nerve in rats. *Brain research bulletin.* 2014.
13. Yamamoto S, Taniguchi H, Hayashi H, Hori K, Tsujimura T, Nakamura Y, et al. How do tablet properties influence swallowing behaviours? *The Journal of pharmacy and pharmacology.* 2014;66(1):32-9.

14. Awad MA, Morais JA, Wollin S, Khalil A, Gray-Donald K, Feine JS. Implant overdentures and nutrition: a randomized controlled trial. *J Dent Res*. 2012;91(1):39-46.
15. Saha A, Dutta S, Varghese RK, Kharsan V, Agrawal A. A survey assessing modes of maintaining denture hygiene among elderly patients. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*. 2014;4(3):145-8.
16. Turkyilmaz I. Rehabilitation of a severely atrophic mandible using soft tissue matrix expansion technique, implants, and fixed dental prosthesis: A clinical report. *The Journal of oral implantology*. 2014.
17. Yamamoto H, Furuya J, Tamada Y, Kondo H. Impacts of wearing complete dentures on bolus transport during feeding in elderly edentulous. *J Oral Rehabil*. 2013;40(12):923-31.
18. 尾本 和彦. 顎・口腔系の機能に関する研究(2) 重度摂食障害児の咀嚼時における口唇の動作解析. *小児歯科学雑誌*. 1984;22(3):742-3.
19. 向井 美恵. 【新・リハビリテーション技術】 摂食動作障害 小児摂食動作の評価と訓練. *総合リハビリテーション*. 2002;30(11):1317-22.
20. Volkert VM, Peterson KM, Zeleny JR, Piazza CC. A clinical protocol to increase chewing and assess mastication in children with feeding disorders. *Behavior modification*. 2014;38(5):705-29.
21. 横山 通夫, 馬場 尊, 才藤 栄一, 加賀谷 斉, 金森 大輔, 尾崎 研一郎, et al. 混合物の咀嚼嚥下課題における孤発的咽頭期嚥下運動の2次元動作解析による検討. *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*. 2008;45(Suppl.):S363.
22. Argolo N, Sampaio M, Pinho P, Melo A, Nobrega AC. Do swallowing

exercises improve swallowing dynamic and quality of life in Parkinson's disease? NeuroRehabilitation. 2013;32(4):949-55.

23. Mann T, Heuberger R, Wong H. The association between chewing and swallowing difficulties and nutritional status in older adults. Australian dental journal. 2013;58(2):200-6.

24. Fontijn-Tekamp FA, van der Bilt A, Abbink JH, Bosman F. Swallowing threshold and masticatory performance in dentate adults. Physiol Behav. 2004;83(3):431-6.

25. 岡本 宏二. 【「食えること」を支えるリハビリとケア】座る姿勢と立つ姿勢. 老健: 全国老人保健施設協会機関誌. 2014;25(2):26-9.

26. 徳竹 正起. 患者のニーズに即した摂食動作への取り組み. 日本農村医学会雑誌. 2014;62(5):800.

27. Leder SB, Suiter DM. Five days of successful oral alimentation for hospitalized patients based upon passing the Yale Swallow Protocol. The Annals of otology, rhinology, and laryngology. 2014;123(9):609-13.

28. 岩波書店. 広辞苑: 岩波書店; 2008.

29. 村山 直子, 松山 順子, 三富 智恵, 坂井 幸子, 河野 承子, 佐野 富子. 一口量の違いが嚥下までの咀嚼回数および嚥下直前の食塊粒子分布に及ぼす影響. 日本咀嚼学会雑誌. 2014;24(1):12-20.

30. 内海 明美, 石崎 晶子, 森田 優, 中村 吉孝, 向井 美恵. 幼児の咀嚼機能発達に関する検討(第三報) 3次元動作解析システムを用いた計測. 小児歯科学雑誌. 2013;51(2):277.

31. Gibbs CH. Electromyographic activity during the motionless period in chewing. J Prosthet Dent. 1975;34(1):35-40.

32. Wickwire NA, Gibbs CH, Jacobson AP, Lundeen HC. Chewing patterns in normal children. *Angle Orthod.* 1981;51(1):48-60.
33. 河野 正司. 6 自由度顎運動測定装置 TRIMET を使って. *日本補綴歯科学会雑誌*. 1998;42(6):913-20.
34. Hayasaki H, Nakata S, Nishijima N, Okamoto A, Minematsu K, Yamasaki Y, et al. CMDME (curved mesh diagram of mandibular excursion) method for visualization and diagnosis of mandibular movement. *J Oral Rehabil.* 1998;25(9):672-6.
35. 山口 徹太郎, 澁澤 龍之, 中島 還, 高橋 満理子, 藤川 泰成, 榎 宏郎. 重度の両側下顎関節突起形成不全症例における機能評価. *日本顎関節学会雑誌*. 2010;22(2):92-7.
36. 津 恭子, 根岸 慎一, 林 亮助, 大原 輝久, 須藤 章乃, 斉藤 勝彦, et al. 食品性状の違いによる咀嚼運動の変化. *日大口腔科学*. 2008;34(1):1-6.
37. Sazonov E, Schuckers S, Lopez-Meyer P, Makeyev O, Sazonova N, Melanson EL, et al. Non-invasive monitoring of chewing and swallowing for objective quantification of ingestive behavior. *Physiol Meas.* 2008;29(5):525-41.
38. Sazonov ES, Schuckers SA, Lopez-Meyer P, Makeyev O, Melanson EL, Neuman MR, et al. Toward objective monitoring of ingestive behavior in free-living population. *Obesity (Silver Spring)*. 2009;17(10):1971-5.
39. Sazonov ES, Makeyev O, Schuckers S, Lopez-Meyer P, Melanson EL, Neuman MR. Automatic detection of swallowing events by acoustical means for applications of monitoring of ingestive behavior. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2010;57(3):626-33.
40. Lopez-Meyer P, Patil Y, Tiffany T, Sazonov E. Detection of

Hand-to-Mouth Gestures Using a RF Operated Proximity Sensor for Monitoring Cigarette Smoking. The open biomedical engineering journal. 2013;9:41-9.

41. Fontana JM, Farooq M, Sazonov E. Automatic ingestion monitor: a novel wearable device for monitoring of ingestive behavior. IEEE Trans Biomed Eng. 2014;61(6):1772-9.

42. Murakami N, Saitoh I, Inada E, Nakakura-Ohshima K, Murakami T, Murakami D, et al. Observation of Chewing and Food Intake over the Course of a Meal. The 3rd International Symposium on Human Resource Development towards Global Initiative, Krabi, Thailand. 2013.

43. Sodersten P, Bergh C, Zandian M, Ioakimidis I. Obesity and the brain. Medical hypotheses. 2011;77(3):371-3.

44. Kaplan DL. Eating style of obese and nonobese males. Psychosom Med. 1980;42(6):529-38.

45. Barkeling B, Ekman S, Rossner S. Eating behaviour in obese and normal weight 11-year-old children. International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity. 1992;16(5):355-60.

46. Mattes RD, Considine RV. Oral processing effort, appetite and acute energy intake in lean and obese adults. Physiol Behav. 2013;120:173-81.

図1



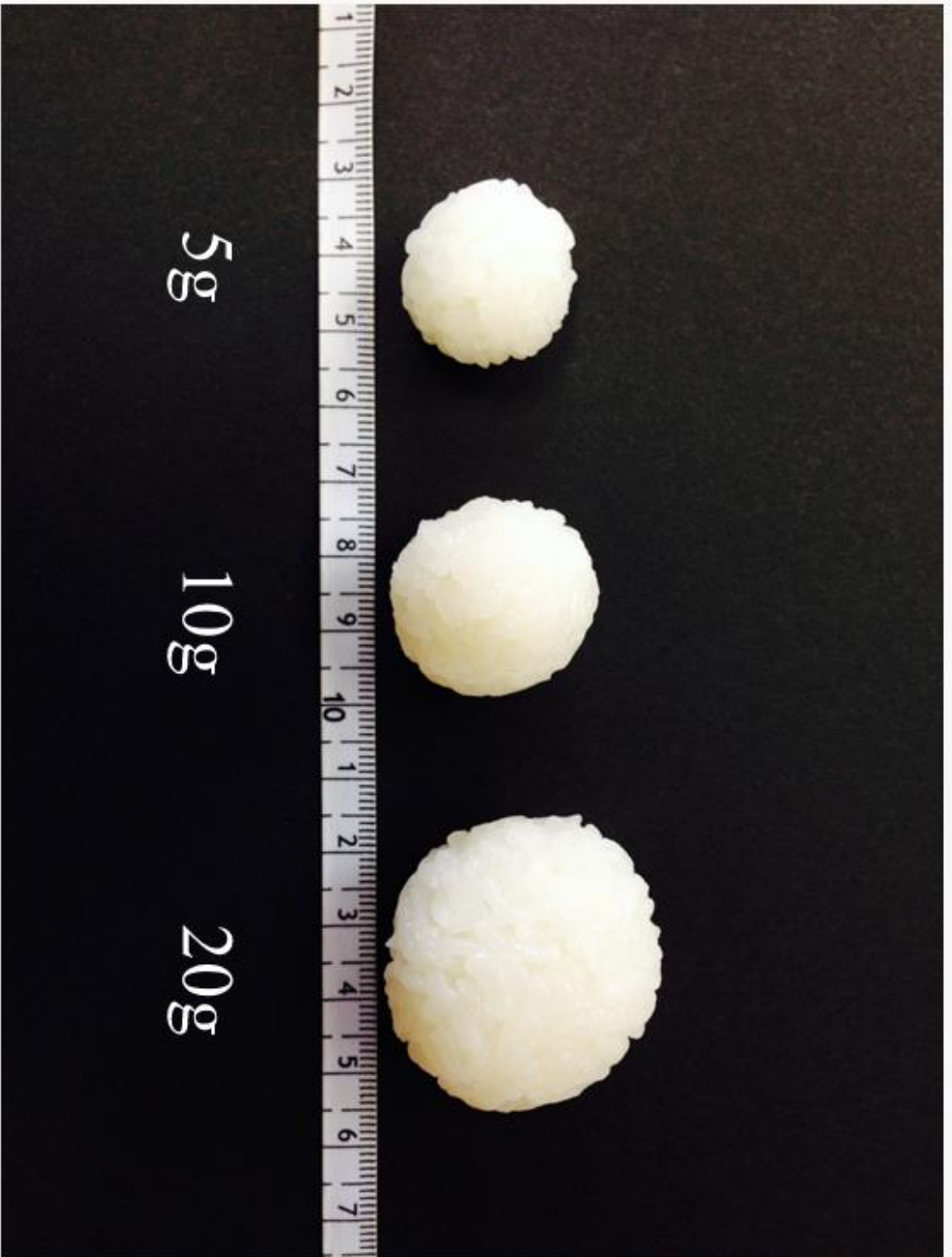
計測の様子



計測に用いた標点

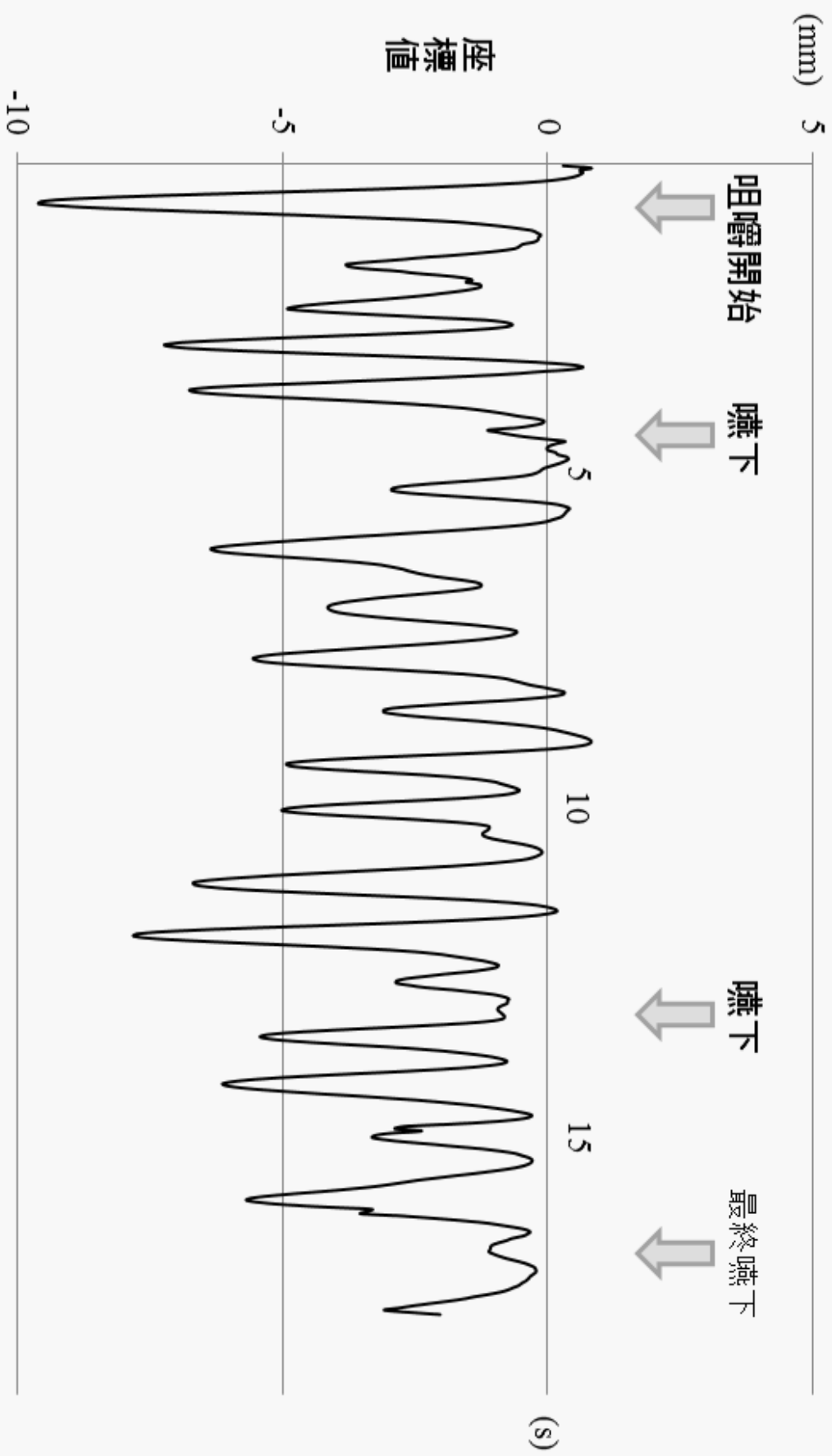


生体に設定した座標系



被験食品

図5



咀嚼から最終嚥下までの時間経過

5gの咀嚼開始から最終嚥下までのPogonion上下運動例

図6

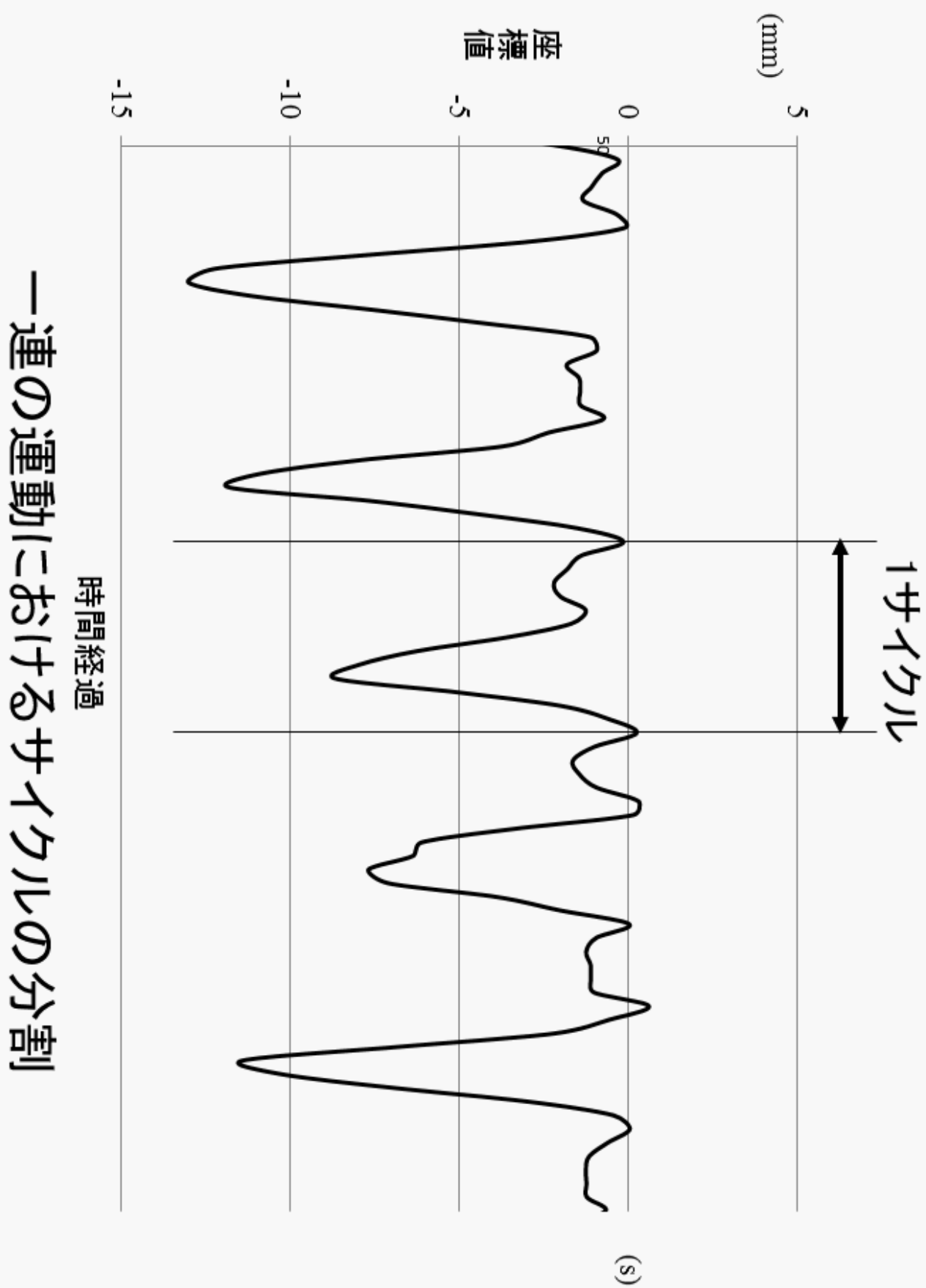
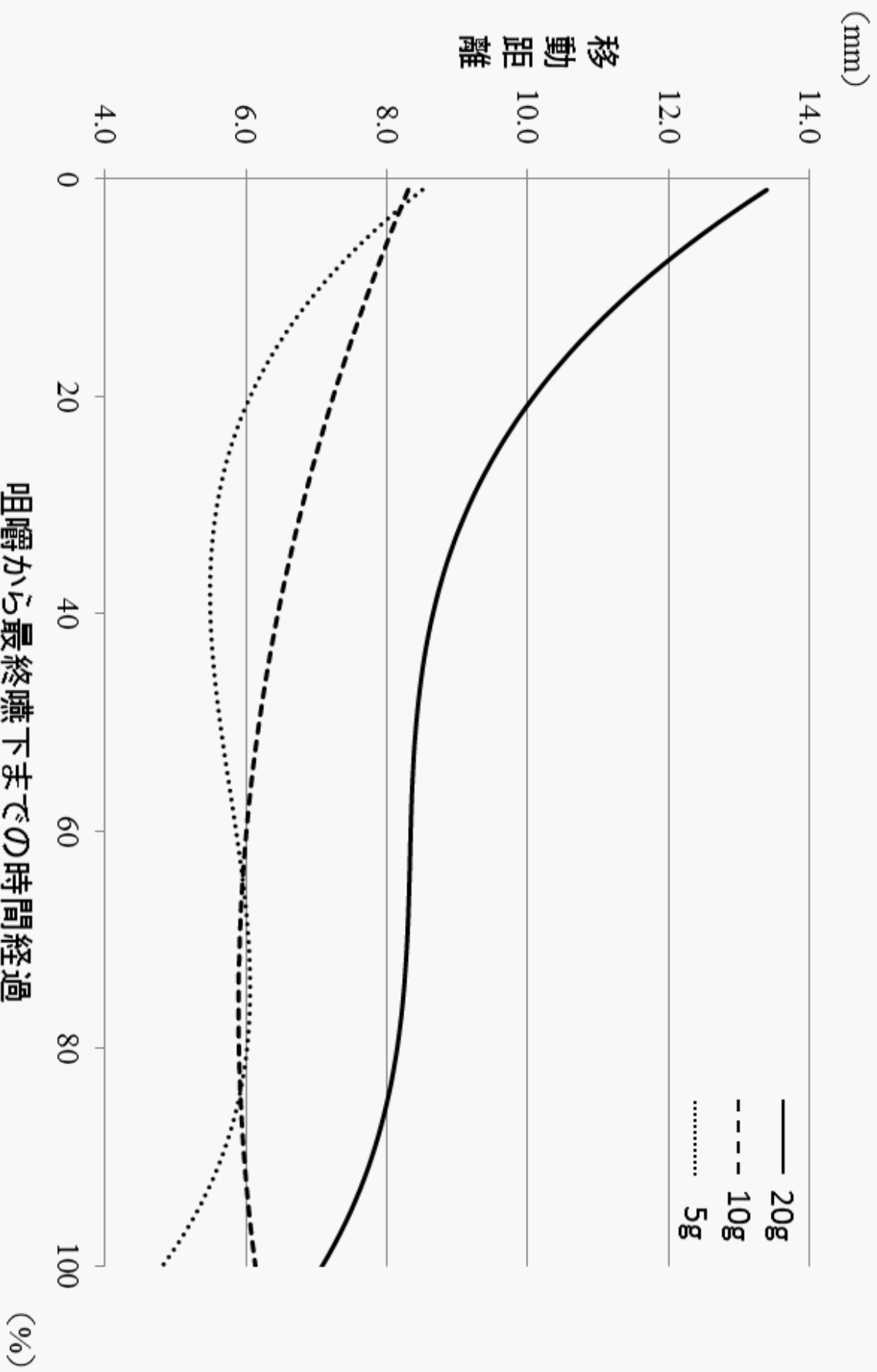
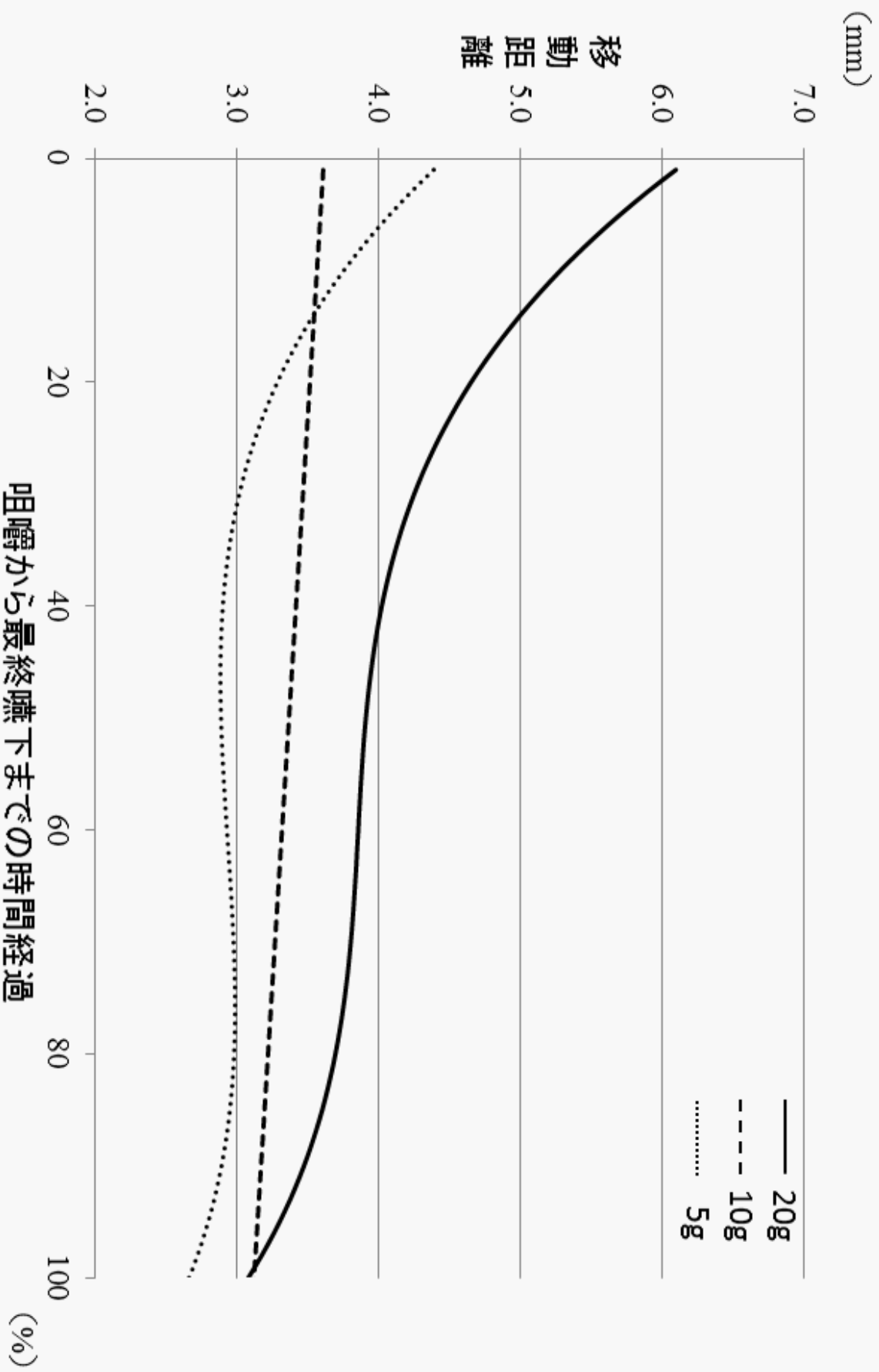


図7



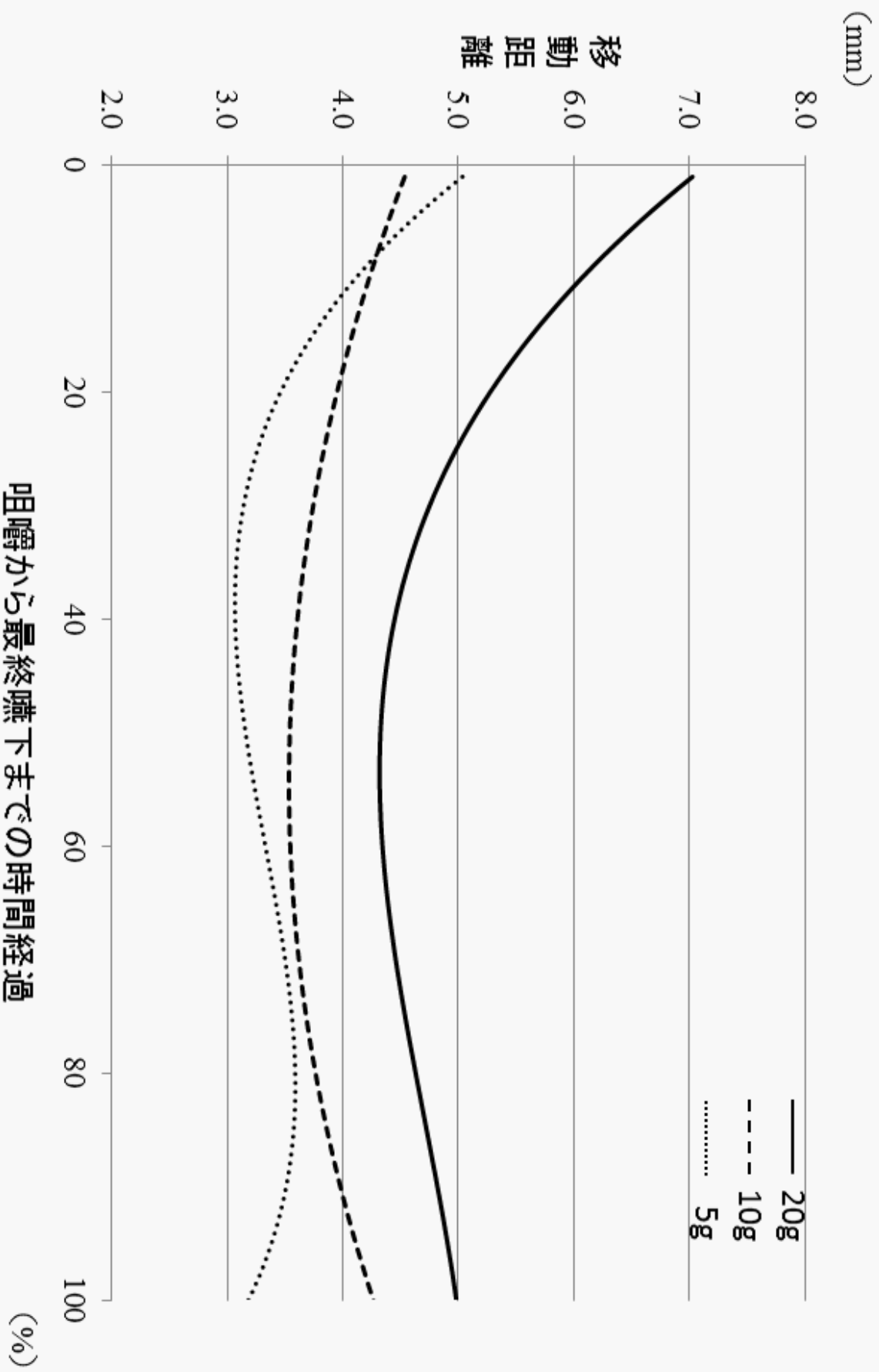
咀嚼から最終嚥下までの時間経過
Pogonion の上下運動

図8



Pogonion の左右運動

図9



咀嚼から最終嚥下までの時間経過
Pogonion の前後運動 (%)

表2

Pogonion の初期咀嚼の移動距離の比較

	5g	10g	20g
上 下	8.44(0.73) ***	8.54(1.03) **	12.80(1.07) **, ***
左 右	4.29(0.51) ***	4.01(0.53) **	5.79(0.51) **, ***
前 後	4.65 (0.67) ***	4.36 (0.78)	6.75(0.85) ***
mm (SE)	P < 0.05: *. 5g - 10g, **.10g - 20g, ***. 5g - 20g		

表3

Pogonion の最終嚙下直前の移動距離の比較

	5g	10g	20g
上下	4.59(0.64) ^{*,***}	6.39(0.89) [*]	7.00(0.75) ^{***}
左右	2.80(0.54)	2.75(0.59)	3.20(0.56)
前後	2.78(0.50) ^{*,***}	4.47(0.95) [*]	5.67(0.86) ^{***}
mm (SE)	P<0.05: *. 5g - 10g, **.10g - 20g, ***. 5g - 20g		

表4

米飯量毎の経時的指数関数曲線の係数(上下)

	a	b	c	d
5g	$8.51 * 10^0$	$-1.95 * 10^{-1}$	$3.95 * 10^{-3}$	$-2.38 * 10^{-5}$
10g	$8.31 * 10^0$	$-6.40 * 10^{-2}$	$4.25 * 10^{-4}$	-
20g	$1.34 * 10^1$	$-2.39 * 10^{-1}$	$3.82 * 10^{-3}$	$-2.07 * 10^{-3}$

運動量: $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$

表5

米飯量毎の経時的指数関数曲線の係数(左右)

	a	b	c	d
5g	$4.39 * 10^0$	$8.31 * 10^{-2}$	$1.47 * 10^{-3}$	$-8.15 * 10^{-6}$
10g	$3.61 * 10^0$	$-4.93 * 10^{-3}$	-	-
20g	$6.10 * 10^0$	$1.05 * 10^{-1}$	$1.70 * 10^{-3}$	$-9.57 * 10^{-6}$

運動量: $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$

表6

米飯量毎の経時的指数関数曲線の係数(前後)

	a	b	c	d
5g	$5.04 * 10^0$	$-1.24 * 10^{-1}$	$2.42 * 10^{-3}$	$2.42 * 10^{-3}$
10g	$4.54 * 10^0$	$-3.75 * 10^{-2}$	$3.51 * 10^{-4}$	-
20g	$7.03 * 10^0$	$-1.22 * 10^{-1}$	$1.70 * 10^{-3}$	$-6.83 * 10^{-6}$

運動量: $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$