

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 5 日現在

機関番号：34303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560290

研究課題名(和文)言語性の交互変換運動での発語能力の評価:指定テンポでの運動の音響生理学的観察

研究課題名(英文)Evaluation of Speaking Ability with Oral Diadochokinesis: Acoustic-Physiologic Observations of Speech Movements at Controlled Rate

研究代表者

苅安 誠 (Kariyasu, Makoto)

京都学園大学・健康医療学部・教授

研究者番号：00320490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：指定テンポ(1Hz・2Hz・3Hz)と最高速で言語性交互変換運動課題を実施することで、音声信号の分節と発語運動の適切さを調べた。健常者では3Hz以上でも分節が達成されていたが、dysarthria患者では2-3Hzでも分節が難しく発語運動の破綻が示唆された。上下唇・顎の運動観察によりテンポ・声量と標的母音で発語運動の大きさが規定されること、4D-CTによる声道形状の観察により側音化構音/ki/で声道狭窄の空間狭小化と偏りがあること、が明らかにされた。発語障害患者での高速発語で見られる発語の不明瞭さや誤りには、高速発語での標的への運動未到達あるいは声道狭窄の異常が関与している可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Oral diadochokinesis was performed at controlled rates (1Hz, 2Hz, and 3Hz) and maximum rate to examine the segmentation of speech signal and the adequacy of speech movements. Unlike normal speakers, speech segmentation was incomplete at 2Hz or 3Hz for dysarthric speakers, implying disrupted speech movements. Lip-jaw movements seemed to be regulated by speaking rate and vocal level in relation to target vowels. Vocal tract constriction was narrow and deviated for lateralized /ki/ productions based on the 4D-CT observation. Slurred speech and/or defective articulation of patients with speech disorders may be caused by articulatory undershoot at fast rates or abnormal oral constriction.

研究分野：リハビリテーション科学

 キーワード：発声発語障害 音響分析 生理計測 dysarthria テンポ指定 言語性交互変換運動 発語能力評価
側音化構音

1. 研究開始当初の背景

発語は、言葉（語）を生成する一連の過程である。語は子音と母音の配列であり、個々の音には空間的かつ時間的な運動標的があり、前後の音環境と発語の速度により運動の軌跡は異なる。自然な音声言語生成（発話）は1秒間に5文字前後の高速運動であり、運動標的から適度に離れた経済的な軌跡（hypo-speech）をとることが知られている。

発語（障害）の診察では、言語表出能力の関与しない無意味音節/pa//ta//ka/の最高速での反復により、発語運動能力を評価する課題（言語性の交互変換運動、以下 DDK）が世界的に行なわれている。DDK 課題での所見（反復率と規則性）は、神経病理に伴う運動障害との関連（痙性麻痺での緩慢、失調での不規則さ）も示され、臨床評価として確立されている。ただし、発語運動速度は運動標的への到達（正確さ）と天秤 trade-off の関係にあるため、最高速の（おそらく運動標的未到達）発語運動だけから、話者の発語能力を評価することは難しい。

2. 研究の目的

指定のテンポ（1Hz・2Hz・3Hz）と最高速で言語性の交互変換運動を健常者と神経原性発語障害患者に行なわせた際の、音声信号の分節と発語運動の適切さを調べることを目的とする。

発語器官運動の観察と計測を行うことで、発語障害患者での高速発語でみられる不明瞭さ slurred 現象などの起源（標的への運動未到達あるいは過剰な動き、時間・空間のズレ等）を探求する。

3. 研究の方法

健常成人と dysarthria の患者で、低速・中高速・最高速での言語性交互変換運動の音響解析、発語運動の観察により、音声信号の分節との発語運動の適切さを調べる。

実験（1）：言語性交互変換運動の音響解析

dysarthria 患者6名（表1）と健常成人10名を対象に、テンポ指定の言語性の交互変換運動課題を実施した。患者には、メトロノームで呈示したテンポ（1Hz、2Hz、3Hz）と最高速（Max）で、CV音節/pa//ta//ka//sa//ra/を11回以上生成させた。

表1 dysarthria 患者6名の年齢・性別、原因疾患、dysarthria のタイプ、重症度

Patient	Age Sex	Etiology	Type	Severity
D1	60 M	stroke	ataxic spastic	moderate-severe
D5	19 M	intoxin	ataxic	moderate
D8	80 M	stroke	spastic	moderate
D2	50 M	stroke	UUMN	mild
D3	66 M	stroke	UUMN	mild
D6	70 M	stroke	UUMN	mild

音声は、高性能マイクロホンと信号入出力装置（ローランド社）音響解析ソフトウェア（Multi-Speech3700, Kay-Pentax 社）を用いて、サンプリング率 25kHz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。

音声データの分析は、音響解析ワークステーション（CSL4500, Kay-Pentax 社）で行った。はじめに、音声波形の観察と音声の再生により、テンポと分析対象波形（生成された一連、10回の反復）を決めた。次に、音声データ 20ms 毎に音声強度を求め、音圧軌跡を表示した（図1）。数値データより、音圧のベースラインを求め、CV音節のや頂点 Peak と谷間 Dip を記録し、Baseline からピークまでを100としたときのDipのレベル(%Dip)を算出した。

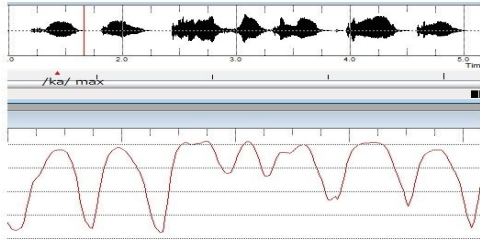


図1 dysarthria 例(D2)の音圧軌跡
3～5回目の反復で slurred 現象

実験(2) 臨床応用のための MDP 自動解析

dysarthria 患者6名と健常話者6名で DDK 課題 (CV 音節: /pa//ta//ka//sa//ba//da//ma//na//ra/) を行った。音響解析ソフト Motor Speech Profile(MSP)を用いて、自動解析 (設定: Peak-10d と Mid) を実施した。

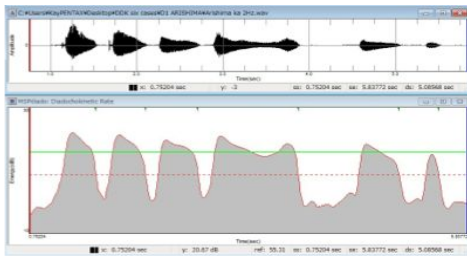


図2 dysarthria 例での音圧軌跡

実験(3): 交互変換運動での唇顎運動

健常成人6名に、/pa/と/pi/をメトロノームのテンポ(1Hzと3Hz)に合わせて生成させ、プロファイル記録装置(LJ-V7080, キー

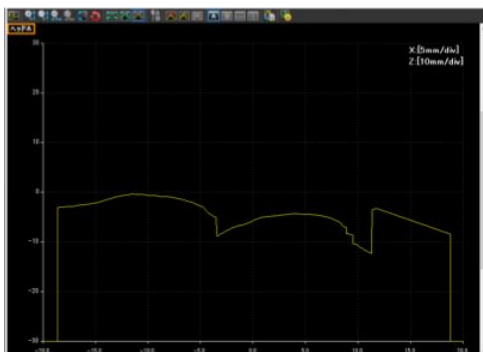


図3 上下唇と顎マーカのプロファイル表示 (健常成人、/pa/の閉鎖時)

エンス社)を用いて、上下唇の形状を3次元で記録した(図3)。

発声発語条件(速度と声の大きさ)下で、テンポ別の変位量を自動追跡で計測した。分散分析(SPSS)を行い、条件の影響を調べた。

実験(4) 4D-CTによる観察

成人構音障害話者(側音化構音)の構音訓練前後に、/ka/と/ki/の反復生成の音声を音響解析ワークステーションで収録・保存した(サンプリング率25kHz)。同時に、顔面の運動を動画収録した。音声データの音響分析を行い、雑音持続時間とフォルマント周波数を求めた。

訓練前後に、指定テンポ(1Hzと3Hz)で/ka/と/ki/の反復生成を行わせ、320列CT(Aquillion ONE, TOSHIBA)で撮影を行った(サンプリング率20Hz)。口腔の声道断面の画像を切り出し、声道モデルを作成した。

4. 研究成果

(1) DDK 音声の音響解析

健常者では、無声子音の音節で Max まで、有声子音の CV で 3Hz まで、%dip は小さかった。軽度 dysarthria 例では、無声子音の音節の 3Hz で %dip が高くなるがあった(図4、表2)。中等度・重度 dysarthria 例では、2Hz でも %dip が高くなっていった(表3)。

テンポ指定の DDK 課題での音圧軌跡より、健常者では、%dip は有声子音を除き、最高速でも 70% 未満であった。一方、dysarthria 患者では、テンポが上がるにつれて dip% は高くなった。

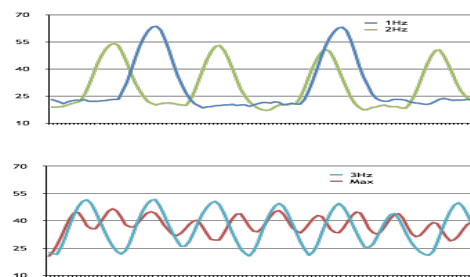


図4 テンポ指定と Max での音圧軌跡 (軽度 dysarthria 例の/ka/)

軽度 dysarthria 患者では 3 Hz が最高速で、中等度・重度 dysarthria 患者では 2 Hz まで、子音と母音の音圧格差が不十分であった。子音生成に伴う口腔閉鎖・狭窄での音圧低下に制限があることは、構音運動未到達を示しており、発語運動に破綻をきたしているものと推察された。

表 2 軽度 dysarthria 例での%dip

ID	pa	ta	ka	sa	ra	Rate
D2	9	5	14	2	2	6Hz
	14	17	6	15	3	
	20	28	17	60	93	
	79	79	58	83	96	
D3	11	17	16	15	20	4Hz
	11	20	20	24	25	
	35	17	17	54	82	
	85	90	90	86	89	

D6	12	8	5	9	6	6Hz
	19	15	11	27	41	
	17	19	24	28	43	
	73	70	67	68	90	

表 3 中等度・重度 dysarthria 例での%dip

ID	pa	ta	ka	sa	ra	max
D1	3	13	15	6	6	2Hz
	3	21	39	11	19	
	24	31	51	60	99	
	81	83	93	64	89	
D5	10	5	2	5	10	2Hz
	5	10	8	21	56	
	19	17	30	24	70	
	19	27	36	50	56	

D8	17	15	12	8	14	5Hz
	18	57	57	50	69	
	64	44	57	70	89	
	84	83	79	80	91	

表 2 と表 3 の註:Rate は Max での反復率である。コラム 4 行はテンポ指定 (1 Hz ・ 2 Hz ・ 3 Hz) と Max での%dip 値を示す。

(2) MDP 自動解析での CV 反復検出

健常話者では、設定 Peak-10dB で 3Hz まで

確実に CV 反復を自動検出できたが、Max で検出エラーがかなりあった。軽度 dysarthria 患者では、設定を Mid に変えれば、2 Hz まで確実に CV 反復が検出できたが、3 Hz と Max では検出エラーがかなりあった。中等度・重度 dysarthria 患者では、設定を変えても、CV 反復の検出エラーが多くみられた。

MSP を用いた DDK の自動解析は、CV 反復率を求める上で臨的に簡便である。中等度・重度 dysarthria 患者でほとんどのテンポで、軽度 dysarthria 患者でも高速・最高速のテンポで、検出エラーがあることを知り、適切な設定をするべきである。検出エラーは、音圧の斬減や変動、%dip の高い子音・母音部で認め、dysarthria 患者の発声発語困難を反映したものであろう。

(3) テンポ指定での上下唇・顎の運動

/pa/ と /pi/ の反復生成時のレーザー光線での上下唇の運動自動追跡で、上唇・下唇の変位量と上下唇間距離が示された (図 5) 。上下唇間距離は、/pa/ が /pi/ より大きく、テンポと声量の影響も認めた。下唇の変位量には、下顎の運動も含まれる (表 4) 。

分散分析によると、テンポの主効果

$F=11.93$ 、CV と声量の相互作用 $F=9.26$ が有意であった ($p<.05$)。すなわち、1 Hz と比べて 3 Hz で変位量は小さく、/pi/ では声量の違いの影響はあまりなかった。

テンポにより、唇・顎の運動の違いをみせた。/pa/ 生成時に、低速 1 Hz では大きな顎運動が、高速 3 Hz では顎と下唇の運動が、見られた。声量の増大に伴い、運動は大きくなるが、/pi/ では母音の構え (平唇) のために、声量増大の影響は小さかったのであろう。

他の実験で行った最高速の CV 反復生成では、顎運動は小さく、唇の運動が相対的に大きくなっていった。テンポが低速から中高速

(~ 3 Hz) と最高速 Max での運動の質的違い (hypo-speech) があるのかもしれない。声量やテンポによる口の開きに変化がない場合には、母音の音響出力に対して舌運動が補完している可能性がある。

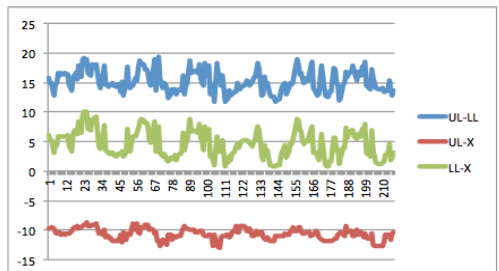
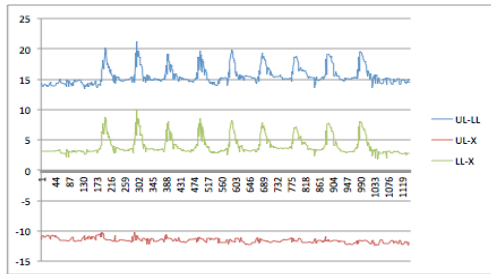


図5 上下唇の運動自動追跡(上段: 1 Hz、下段: 3 Hz)による変位プロット(上: 上下唇間距離、中: 下唇変位置量、下: 上唇変位置量、単位: mm)

表4 普通と大きな声でのテンポ指定(1 Hzと3 Hz)でのCV音節の反復生成時の下唇変位置量(mm)

	1Hz		3Hz	
	N	L	N	L
Loudness				
/pa/	7.2	9.0	5.1	6.8
/pi/	6.0	6.5	5.1	5.1

(4) 構音障害(側音化構音)の観察

/ki/の側音化構音は、低速1 Hzではあまり感知できなかったが、音量増大(2倍の声の大きさ)や高速3 Hzで顕在化した。音響分析によると、大きな声3 Hzでの/ki/の反復生成で、ノイズバーストの後に雑音が長く、母音部でも持続していた(図6)。

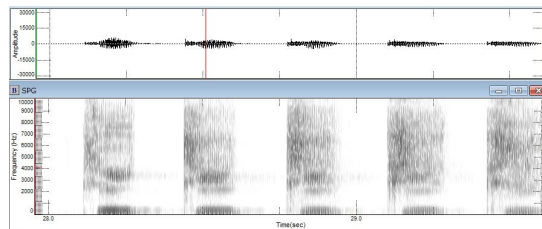


図6 側音化構音の成人の/ki/反復(条件: テンポ3 Hz、大きな声)

/ki/反復生成時の声道画像より、/k/の閉鎖部位を同定し、狭窄を経時的に観察した。/ki/の閉鎖開放から口腔内の狭窄が、母音/i/でも観察された。狭窄は、訓練前は左に偏位した小さな空間であったが、訓練後は中央に比較的大きい空間となっていた(図7)。

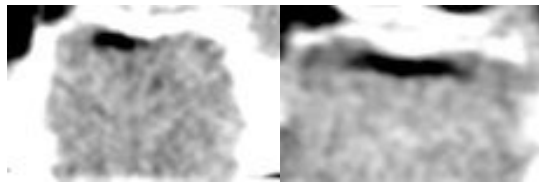


図7 /ki/生成時(1 Hz)の口腔前額断面での口腔内狭窄(黒色) 左: 訓練前 右: 訓練後

側音化構音は、イ列音節で出現する異常構音で、呼気が正中から出せない状態で、雑音が聴取される。構音時には、顔面の引き攣れ、顎の偏位、舌の緊張とゆがみが観察される。声道内の観察により、閉鎖からの開放から母音部にかけて、小さな狭窄が持続していることが4D-CTの観察で分かった。構音障害、特に舌の形状や緊張の左右差があるdysarthria患者での声道形状の観察も行う予定である。

結語

本研究では、言語性の交互変換運動を指定したテンポ(1 Hz・2 Hz・3 Hz)と最高速で行なわせた際に、健常者では2-3 Hzで分節が達成されていた。一方、dysarthria患者では、高速・最高速で分節が難しく、発語運動の破綻を示している。テンポの違いは、分節の難易度だけでなく、発語運動の大きさも変

えることが唇顎の運動変位より示された。

不明瞭発話は、分節不全のくつき現象であり、背景にある運動破綻が高速・最高速のテンポや身体努力を伴う音量増大で認めた。異常構音のひとつである側音化構音が、声道狭窄の空間狭小化と偏りによることが明らかにされた。

発語運動（声帯・口蓋咽頭・舌・唇顎）の適切さを調べる際に、テンポや音量を変数として操作する評価方法は、異常性の顕在化と病態の理解に寄与する。発語能力に見合った発話（速度）を知ることで、発語困難のある患者の指導に繋がることだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4件)

平松哲也、苅安誠：頭頸部姿勢変化に伴う嚥下時筋活動への影響。米子医学会誌、査読あり 65: 76-83, 2014.

徳永徳子、苅安誠ほか：頸椎装具（カラー）がガム咀嚼時の顎関節運動と筋活動に与える影響。北海道神経難病研究センター機関誌、査読なし 2: 26-30, 2015.

苅安誠、外山稔、松平登志正：コミュニケーション障害の疫学。KGU 研究紀要、査読あり、1:1-12, 2016.

苅安誠、外山稔：高齢摂食嚥下障害患者診療におけるリスク・マネジメント。ENTONI 査読なし 2016 (8月刊行予定)。

〔学会発表〕(計 12件)

苅安誠：交互変換運動の課題改変：1 Hz・2 Hz・3 Hz と Max で破綻をみる。第 59 回日本音声言語医学会@福岡, 2014-10-09.

Kariyasu M: Acoustic and physiologic assessment of tongue dysfunction in dysarthric speakers. ASHA, Orland, 2014-11-20.

苅安誠、外山稔：先行する母音を予期しての発語運動：レーザー光線での観察。第 52 回日本リハビリテーション医学会, 新潟市, 2015-05-30.

苅安誠：サウンドスペクトログラムの臨床応用（異常音声の音響分析）。第 16 回日本言語聴覚学会（招待講演）仙台市、2015-06-27.

苅安誠：交互変換運動の分析～Motor Speech Profile (MDP) の活用と限界。第 60 回日本音声言語医学会, 2015-10-15.

Kariyasu M, Satoh K, Nozaki K: Speech movement and vocal tract shaping for lateral misarticulation - 4D-CT observation. ASHA, Denver, 2015-11-25.

苅安誠：Ataxic dysarthria の 2 症例～一過性の嚥下困難と残存した発声発語障害。第 33 回日本神経治療学会, 名古屋市, 2015-11-25. 佐藤耕一、鈴木延、苅安誠ほか：320 列 CT を用いた高齢患者における口蓋形成術後の構音の評価。第 40 回日本口蓋裂学会, 大阪市, 2016-05-26.

野崎一徳、佐藤耕一、苅安誠ほか：鼻咽腔閉鎖機能を考慮した構音の流体解析。第 40 回日本口蓋裂学会, 大阪市, 2016-05-27.

苅安誠：テンポ指定での交互変換運動時の唇運動～レーザー光線での観察。第 53 回日本リハビリテーション医学会, 京都市, 2016-06-09.

Kariyasu M, Satoh K, Nozaki K: Lateral misarticulation observed with 4D-CT. The 30th IALP, Dublin, 2016-08-25.

苅安誠：神経筋疾患等の疾患を有した症例での発話分析。第 40 回日本神経心理学会（招待講演）, 熊本市, 2016-09-15.

〔図書〕(計 5件)

苅安誠：構音障害の臨床の流れ、基礎知識ほか。平野哲雄他（編）、言語聴覚療法～臨床マニュアル。協同医書, 2014.

苅安誠：音声障害・検査法（機器を用いた評価）。文光堂, 2014, pp360-366.

苅安誠：音声障害・評価（機器を用いた評価）。熊倉勇美・今井智子（編）、発声発語障害学（第 2 版）。医学書院, 2015, pp53-70.

苅安誠：吃音。廣瀬肇（監修）、発話障害へのアプローチ。インテルナ出版, 2015, pp71-97.

苅安誠：神経原性発声発語障害のリハビリテーション～dysarthria を診る。医歯薬出版, 2016. (9月刊行予定)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0件）

取得状況（計 0件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

苅安誠 (KARIYASU Makoto)

京都学園大学・健康医療学部・教授

研究者番号：00320490

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号：