脳卒中患者に対する腹部筋電氣的刺激が 随意的咳嗽力と体幹機能に及ぼす影響

Effects of Electrical Stimulation of Abdominal Muscles on Voluntary Cough Intensity and Trunk Function of Stroke Patients

山下 弘二¹⁾ 石岡 新治²⁾

KOUJI YAMASHITA¹⁾, SINJI ISHIOKA²⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Aomori University of Health and Welfare: 58-1 Mase, Hamadate, Aomori-shi, Aomori 030-8505, Japan. TEL+81 017-765-2066 E-mail: k_yamashita@auhw.ac.jp

²⁾ Department of Rehabilitation, Tsugaru Health coop Kensei Hospital

Rigakuryoho Kagaku 29(3): 351-355, 2014. Submitted Nov. 7, 2013. Accepted Dec. 13, 2013.

ABSTRACT: [Purpose] This study aimed to explore the effects of electrical stimulation (ES) of abdominal muscles on voluntary cough intensity and trunk function in stroke patients. [Methods] A total of 23 stroke inpatients undergoing rehabilitation were included. Patients were divided into an ES group of 10 patients, which concomitantly received electrical stimulation for 4 weeks, and a control group of 13 patients. Respiratory muscle strength was assessed using maximal inspiratory pressure (MIP) and maximal expiratory pressure (MEP). Voluntary cough intensity was assessed by measuring peak cough flow (PCF) and sound pressure level (SPL). Trunk function was assessed using the trunk control test (TCT) and the time required to rise from a supine to a seated position. [Results] In the ES group, MEP, MIP, PCF and SPL at 4 weeks were significantly increased from the baseline. In the control group, no significant difference was found in any parameter. The TCT score significantly increased in both groups, but no significant difference was noted in the ratio of change between the groups. The mean percent decrease in the time required to rise from a supine to a seated position was 18.4% in the ES group and 8.7% in the control group, suggesting that ES of the abdominal muscles may improve trunk function. [Conclusion] These results suggest that, ES of the abdominal muscles of stroke patients might increase voluntary cough intensity and improve trunk function.

Key words: stroke, electrical stimulation, cough intensity

要旨:〔目的〕脳卒中患者における腹部電気刺激 (ES) が随意的咳嗽力と体幹機能に及ぼす影響について検討した。〔方法〕対象は入院脳卒中患者で 4 週間 ES 併用した ES 群 10 名と対照群 13 名である。呼吸筋力は最大吸気圧 (MIP) と最大呼気圧 (MEP), 随意的咳嗽力は最大咳嗽流速 (PCF) と音圧レベル (SPL), 体幹機能は trunk control test (TCT) と起き上がり時間を測定した。〔結果〕ES 群は MEP, MIP, PCF, SPL が 4 週間後で有意に増加したが, 対照群では有意差はなかった。両群の TCT は有意に増加したが, 変化率に有意差はなかった。起き上がり時間の短縮率は ES 群 18.4%, 対照群 8.7% であった。〔結語〕脳卒中患者における腹部 ES は随意的咳嗽力向上と体幹機能の改善が示唆された。

キーワード: 脳卒中, 腹部電気刺激, 随意的咳嗽力

¹⁾ 青森県立保健大学 健康科学部 理学療法学科: 青森県青森市浜館字間瀬 58-1 (〒030-8505) TEL 017-765-2066

²⁾ 津軽保健生活協同組合健生病院 リハビリテーション科

I. はじめに

高齢者では潜在的に嚥下障害を認めることが多く、特に脳卒中患者では30~60%に嚥下障害を認めるため直接死因の多くが誤嚥性肺炎であるという見方もされつつある¹⁾。脳卒中後の誤嚥性肺炎を予防するためには、早期に誤嚥リスクを評価し、食事場面での各種手技、栄養管理、体力強化などの適切なリハビリテーションが実施されるべきである²⁾。Smithら³⁾は、随意的咳嗽時の気流パターンと音圧レベルを定量的に測定することによって脳卒中患者の誤嚥リスクを予測できると報告している。またSyabbalo⁴⁾によると、呼吸筋力の低下は咳嗽機能および気道のクリアランスに影響を及ぼすと報告している。さらにHarrafら⁵⁾の経頭蓋磁気刺激法を用いた研究によると、急性期脳卒中患者では大脳皮質の虚血性障害が呼吸筋力の低下および咳嗽障害に影響を及ぼすと報告している。このように脳卒中患者では、呼吸筋力の低下が咳嗽時の気流を低下させるため誤嚥につながると考えられる。Teixerira-Salmelaら⁶⁾は脳卒中患者と同年代の健康人の呼吸圧と胸腹部の運動性を比較したところ、脳卒中患者で呼吸筋力が低下し、横隔膜と腹部筋の運動性も減少していたと報告している。呼吸筋力は随意的咳嗽力および体幹機能に影響すると考えられる。筆者らの研究⁷⁾では自立起床可能より自立起床不能な脳卒中患者の随意的咳嗽力の方が低値であったことから、起き上がり動作時に体幹の屈曲、回旋、および側屈させる機能を有し、呼吸筋としても重要な腹筋群を強化する必要性が示唆された。

近年、医学的リハビリテーションでは電気刺激(electrical stimulation, 以下ES)を筋力増強の手段として用いられるようになり、スポーツ選手だけでなく各種の疾患で筋力増強の効果に関する報告がなされている⁸⁾。脳卒中片麻痺患者に対するESの研究には、麻痺肢の運動機能回復や痙縮抑制に関するものが多く⁹⁾、体幹筋や腹筋群に対する効果の研究はみあたらない。そこで、今回我々は脳卒中患者の腹部電気刺激が随意的咳嗽力と体幹機能に及ぼす影響について検討した。

II. 対象と方法

対象は入院中の脳卒中患者23名とし、通常のリハビリテーションにESを併用したES群10名と通常のリハビリテーションのみ行った対照群13名に分けた。研究参加時の両群の運動麻痺の程度(Brunnstrom recovery stage, 以下BRS)、ADL評価の指標として機能的自立度評価法(functional independence measure, 以下FIM)、栄養指標として血清アルブミン値(Alb)、体格指数(BMI)、理想体重比(%IBW)などの基本属性を表1に示す。発症からの期間は平均95.6±100.5日であった。本研究では

各測定に影響があると考えられるコミュニケーション障害、高次脳機能障害、および急性呼吸器疾患のある者、さらに、ES群では低周波治療の禁忌となる者は対象から除外した。なお、本研究は所属大学の研究倫理審査委員会の承認(承認番号:1307)を得た上で、対象者に調査内容と倫理的配慮について説明し、同意を得て行った。

本研究の呼吸筋力の測定は口腔内圧による呼吸筋力計Vitalopower KH-101(CHEST社)を使用した。最大吸気圧(maximal inspiratory pressure, 以下MIP)は患者に残気量位まで呼気を行わせ、その後検者がマスクを口周囲に固定し、最大努力で吸気を約3秒間持続させた時の値とした。同様に最大呼気圧(maximal expiratory pressure, 以下MEP)は患者に全肺気量位まで吸気を行わせ、その後検者がマスクを口周囲に固定し、最大努力で約3秒間持続させた時の値とした。頬筋の影響と声門閉鎖を防止するために通気調節管の長さ15 mm、通気孔の直径1 mmのものをを用いた。

随意的咳嗽力は最大咳嗽時の流速(peak cough flow, 以下PCF)と音圧レベル(sound pressure level, 以下SPL)を用いた。PCFは肺機能測定器(Autospiro-505, MINATO社)にマウスピースの代わりにフェイスマスクを装着し、検者がマスクと患者の後頭部を軽く押さえた。測定中に呼気や吸気が漏れないよう注意し、十分に息を吸い込んだところから思いっきり咳嗽(例えばゴホン)を行った時の呼気流速をフローボリューム曲線から求めた。SPLは音圧測定器(Sound Level meter TM-103, TENMARS社)を使用した。患者の口と音圧測定器のセンサー部の距離を30 cmとし、PCFと同様に最大努力で咳嗽を行った時の最高値を測定した。測定環境は咳嗽以外の音が影響しないように静かな場所で測定を行った。

呼吸筋力と随意的咳嗽力の測定肢位は足底を床面に接地した椅子座位、または、車椅子座位とした。測定は3回行い最高値を採用した。

体幹機能の評価にはFranchignoniら¹⁰⁾によって脳卒中の回復を示すことが証明されているtrunk control test(以下TCT)を用いた。TCTは①麻痺側への寝返り、②非麻痺側への寝返り、③座位への起き上がり、④座位バランスの4項目について評価するものである。①②③の開始肢位はベッド上背臥位とし、④の座位バランスは床面に足底を接地した状態で診察台に端座位をとらせ30秒間その姿勢を保持させた。4項目においてそれぞれ自力不能0点、支持物を利用して可能12点、正常な方法で可能25点の3段階で判定し、最大で合計100点となる。さらに、本研究では対象者全員が監視または口頭指示で起き上がりが可能であったので、ベッド上背臥位から端座位までの起き上がり時間を測定した。

腹部ESの方法は、Miuraら¹¹⁾の研究を参考にした。ES装置は大きさ141 mm×98 mm×29 mm、重さ190 g、2対の出力で広範囲な筋群を一度に刺激できるトレリー

トEM-100 (東レ社) を使用した。本装置の腹部モードは10秒の刺激と休止が繰り返され、強度1~60 mA、周波数50 Hz、パルス幅200~250 μ sの矩形波、双極性刺激した。一般的に30~50 Hz程度の高い周波数の刺激ではType II線維 (速筋線維) に作用し、主として瞬発力や最大筋力を高めるのに適している。また、300~400 μ sのパルス幅では皮膚分極を起こさないで電気刺激による痛みが少ないと言われている¹²⁾。刺激表面電極は5 cm $\times$ 9 cmのLサイズを使用し、1対を腹直筋と腹横筋領域にもう1対を第12肋骨下縁直下で外内腹斜筋領域に左右対称に貼付した。プロトコルは腹部モードで1回の刺激時間はウォームアップ3分、トレーニング25分、クールダウン2分の合計30分間とした。刺激強度は不快な疼痛を与えない程度の最大出力とし、1週間毎に増加させた (表2)。刺激頻度は対象者の疲労度を考慮して、1週間に5回を4週間継続した。

統計学的解析にはSPSS ver.11.5Jを用いた。両群の開始時および4週間後のMIP、MEP、PCF、SPLの群間比較には対応のないt検定、それらの群内比較には対応のあるt検定、起き上がり時間とTCTの群間比較にはMann-WhitneyのU検定、群内比較にはWilcoxon符号

順位和検定を用いた。有意水準はすべて5%未満とした。

III. 結 果

開始時の各項目は両群間に有意差は認められなかった (表1)。MEP、MIP、PCF、SPLは4週間後のES群に有意な増加が認められたが、対照群は有意な差が認められなかった (表3)。次に、体幹機能は両群において非麻痺側への寝返りとTCT合計点に開始時と4週間後の間に有意な増加が認められたが、両群間で変化量の程度に有意な差が認められなかった (表4)。起き上がり時間を開始時と4週間後の差とに両群ともに統計的に有意な差は認められなかった。起き上がり時間の4週間の時間差は、ES群-4.1 $\pm$ 10.2秒、対照群-2.7 $\pm$ 6.6秒、起き上がり時間の開始時を100%とすると差の短縮率はES群18.4 $\pm$ 23.5%、対照群8.7 $\pm$ 16.4%となり、ES群の短縮率の方が大きい傾向にあった。

IV. 考 察

本研究では脳卒中患者に対して腹部ESを実施した結果、ES群ではMEP、MIP、PCF、SPLが開始時と比較し4週間後で有意に増加したが、対照群では有意差はみ

表1 開始時の基本属性

	ES 群 (N=10)	対照群 (N=13)
性別 (男/女)	(6/4)	(7/6)
年齢 (歳)	71.7 $\pm$ 8.2	65.2 $\pm$ 7.9
身長 (cm)	163.4 $\pm$ 7.5	159.9 $\pm$ 8.0
体重 (kg)	60.4 $\pm$ 7.6	56.9 $\pm$ 8.3
BMI (kg/m ²)	22.8 $\pm$ 4.0	22.2 $\pm$ 2.2
% IBW (%)	103.6 $\pm$ 18.2	100.8 $\pm$ 9.8
診断名 (名)	脳梗塞 (8) 脳出血 (2)	脳梗塞 (10) 脳出血 (3)
麻痺側	右 (6) 左 (4)	右 (5) 左 (8)
上肢 BRS	4 (3, 5)	4 (3, 4.8)
下肢 BRS	5 (4, 5)	5 (4, 5)
FIM	95.5 $\pm$ 18.2	87.7 $\pm$ 28.2
Alb (g/dl)	3.7 $\pm$ 0.4	3.8 $\pm$ 0.5

平均値 $\pm$ 標準偏差, 中央値 (25%点, 75%点)。

表2 ES 群の刺激強度

ES 群	開始時 (mA)	4週間後 (mA)
1	20	27
2	25	32
3	28	37
4	26	34
5	22	27
6	20	26
7	20	26
8	22	27
9	26	33
10	24	28
平均値 $\pm$ 標準偏差	23.3 $\pm$ 2.9	29.7 $\pm$ 3.9

表3 呼吸筋力と随意的咳嗽力の4週間後の比較

	ES 群 (N=10)		対照群 (N=13)	
	開始時	4週間後	開始時	4週間後
MEP (cmH ₂ O)	45.0 $\pm$ 10.2	52.8 $\pm$ 9.7**	41.7 $\pm$ 9.2	43.4 $\pm$ 9.6
MIP (cmH ₂ O)	38.7 $\pm$ 10.7	45.6 $\pm$ 12.2*	35.6 $\pm$ 9.0	37.7 $\pm$ 10.5
PCF (L/min)	287.9 $\pm$ 47.8	318.1 $\pm$ 44.7**	271.8 $\pm$ 62.9	279.5 $\pm$ 75.2
SPL (dB)	89.6 $\pm$ 4.9	91.6 $\pm$ 5.0*	88.4 $\pm$ 11.3	88.7 $\pm$ 10.8

平均値 $\pm$ 標準偏差,

: * p<0.05, ** p<0.01, 開始時と4週間後の比較。

表4 体幹機能の比較

TCT	ES群 (N=10)		対照群 (N=13)	
	開始時	4週間後	開始時	4週間後
麻痺側への寝返り	12 (12, 25)	25 (25, 25)	12 (12, 12)	12 (12, 25)
非麻痺側への寝返り	12 (12, 22)	25 (25, 25) *	12 (12, 12)	25 (12, 25) *
起き上がり	12 (12, 12)	12 (12, 22)	12 (12, 25)	12 (12, 25)
座位保持	25 (25, 25)	25 (25, 25)	25 (25, 25)	25 (25, 25)
合計点 (/100)	67 (61, 83.8)	87 (87, 87) *	61 (61, 74)	87 (61, 87) *
起き上がり時間 (秒)	9.9 ± 12.6	5.8 ± 2.8	13.0 ± 17.1	10.2 ± 11.2
4週間の時間差 (秒)		-4.1 ± 10.2		-2.7 ± 6.6
4週間の短縮率 (%)		18.4 ± 23.4		8.7 ± 16.4

中央値 (25%点, 75%点), 平均値 ± 標準偏差.

* $p < 0.05$, 開始時と4週間後の比較.

られなかった. ES群ではMEPだけでなくMIPにも有意な増加が認められた. これは腹部筋が努力性呼吸時にだけ働くのではなく, 吸気時にも横隔膜の機能を高めるように働く作用があるため¹³⁾, ESによって腹部筋が強化され, それが吸気筋である横隔膜の収縮効率をも改善させたと考えられる. 咳嗽には, ①吸気筋群が働き肺気量を増加させ胸腹壁が拡張する吸入期, ②声門を閉鎖して腹部の呼吸筋群が強く収縮して咳嗽のための高い駆動圧を作る準備期, ③横隔膜の弛緩と声門解放および強い呼吸筋群の収縮によって高い胸腔内圧が陽圧化されて爆発的な咳嗽が起こる三相がある¹⁴⁾. このように咳嗽時に腹筋群が収縮し, 胸腔内圧を上昇させて横隔膜を押し上げるように働いている. PCFを作り出すための重要な規定因子には肺弾性収縮力を作り出すための呼吸筋力, 気道抵抗, 声門閉鎖機能, さらに各呼吸筋間の相互協調機能などがあげられる¹⁴⁾. 本研究のES群では主として呼吸筋力が増加し, それが随意的咳嗽力の増加につながったと考えられる.

Miuraら¹¹⁾の不活動高齢者を対象に8週間の腹部ESが運動能力に及ぼす効果について検討した研究では, 実施後4週間目から起き上がり時間と体幹屈曲回数の有意な改善が認められたと報告している. 本研究では両群において非麻痺側への寝返りとTCT合計点に4週間後に有意な増加が見られたが, その増加の程度に有意な差が認められなかった. 一方, 起き上がり時間はベースライン時からバラツキが大きく, 腹筋群の筋力の個人差や起き上がり練習の習熟度が影響していると考えられる. 起き上がり時間の平均短縮率 (短縮時間) からみると対照群の8.7% (2.7秒) に対してES群の18.4% (4.1秒) と大きい傾向にあることから腹部ESは体幹機能を改善させる可能性があると考え. 腹筋, 内外腹斜筋, および, 横隔膜は呼吸作用を持つ体幹の姿勢制御筋である¹⁵⁾. ES群では対照群よりMEPとMIPの有意な増加が認められたことから呼吸筋である体幹制御筋が強化されたと考え

られる. しかし, TCTでは4項目を3段階の評価尺度から評価していることから, 4週間後の両群の細かな体幹機能の差異をとらえることができなかったと考えられる. 今後は, ESの実施期間をのばすことと感度の高い体幹機能評価方法を用いて検討する必要がある.

腹筋群の非呼吸性作用として体位変換や姿勢を保持する機能があるだけでなく, 咳嗽, くしゃみ, 排便, さらに発声嚥下などの重要な機能がある¹⁵⁾. 特に咳嗽時には各筋群のType II線維の瞬発的活動が必要となる. 福地¹⁶⁾によると横隔膜より腹部筋の方がType II線維の加齢萎縮が顕著であり, 寝たきりの高齢者に特徴的であるとしている. さらにKimら¹⁶⁾の研究によると不活発な高齢者では, 呼吸筋の弱化によって咳嗽時に胸腔内圧を十分高めることができず呼吸流速が低下し, これが誤嚥性肺炎の発症につながると報告している. 脳卒中患者では麻痺側横隔膜の機能低下, 麻痺側胸郭の運動性の減少, および痙性による胸郭伸展性の減少など¹⁸⁾によって, 呼吸作用 (換気) と非呼吸性作用 (姿勢制御, 咳嗽など) が低下していると考えられる. このような呼吸筋機能の低下とともに加齢による影響が重なるため, 高齢脳卒中患者に対する腹筋群の強化は起居動作の向上だけでなく誤嚥性肺炎の予防という点からも重要である. 筆者ら¹⁹⁾は脳卒中患者に対して呼吸陽圧装置を用いて呼吸筋トレーニングを実施しているが, 意欲の低下や認知症がある場合, 呼吸筋力が非常に弱い患者などでは実施困難なことが多い. このような患者に対して, 腹部ESは随意的な努力が必要でないため通常の運動療法中に併用することも可能である. 本研究の結果, 脳卒中患者に対する腹部ESは随意的咳嗽力を向上させ, 体幹機能を改善させる可能性が示唆された.

引用文献

- 1) 平岡 崇: 摂食・嚥下障害のリハビリテーション, 病

- 歴・身体所見のポイント. *Modern Physician*, 2006, 26(1): 19-21.
- 2) 片桐伯真, 藤島一郎: 脳卒中患後肺炎の非薬物的予防法とその限界. *成人病と生活習慣病*, 2007, 37(4): 416-421.
- 3) Smith Hammond CA, Goldstein LB, Horner RD, et al.: Predicting aspiration in patients with ischemic stroke: comparison of clinical signs and aerodynamic measures of voluntary cough. *Chest*, 2009, 135(3): 769-777.
- 4) Syabbalo N.: Assessment of respiratory muscle function and strength. *Postgrad Med J*, 1998, 74(870): 208-215.
- 5) Harraf F, Ward K, Man W, et al.: Transcranial magnetic stimulation study of expiratory muscle weakness in acute ischemic stroke. *Neurology*, 2008, 71(24): 2000-2007.
- 6) Teixeira-Salmela LF, Parreira VF, Britto RR, et al.: Respiratory pressures and thoracoabdominal motion in community-dwelling chronic stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86(10): 1974-1978.
- 7) 山下弘二, 伊藤和夫: 脳卒中患者における随意的咳嗽力と日常生活動作能力との関連性. *理学療法科学*, 2013, 28(1): 105-108.
- 8) 松瀬博夫, 志波直人, 田川善彦: 電気刺激療法(筋力増強). *J Clin Rehabil*, 2011, 20(21): 1048-1053.
- 9) 関 和則: ニューロリハビリテーション. 電気生理学的アプローチによる神経機能回復. *分子脳血管病*, 2005, 4(1): 38-42.
- 10) Franchignoni FP, Tesio L, Ricupero C, et al.: Trunk control test as an early predictor of stroke rehabilitation outcome. *Stroke*, 1997, 28(7): 1382-1385.
- 11) Misa M, Kazunori S, Osamu I, et al.: Electrical stimulation of the abdomen preserves motor performance in the inactive elderly: a randomized controlled trial. *Tohoku J Exp Med*, 2012, 228(2): 93-101.
- 12) 赤嶺卓哉, 重岡孝文, 荻田 太・他: スポーツ選手の大腿部筋群に対する電気筋肉刺激法の効果について. *臨床スポーツ医学*, 1999, 16(2): 223-228.
- 13) P.M. デービス: Right in the middle: 成人片麻痺の選択的な体幹活動. 額谷一夫(訳), シュプリンガー・フェアラーク東京出版, 東京, 1991, pp28-29.
- 14) 朝戸祐子, 吉野克樹, 今野公郎: 高齢者の咳嗽機能低下に関する研究. *東女医大誌*, 1997, 67(1・2): 49-54.
- 15) 山田拓実, 阿部 直: 呼吸筋と姿勢制御筋. 呼吸と循環, 2000, 48(3): 231-237.
- 16) 福地義之助: 呼吸筋と加齢. *呼吸*, 1988, 7(12): 1388-1392.
- 17) Kim J, Davenport P, Sapienza C: Effect of expiratory muscle strength training on elderly cough function. *Arch Gerontol Geriatr*, 2009, 48(3): 361-366.
- 18) 大川裕行: 脳卒中後片麻痺患者の呼吸機能の特性. *理学療法科学*, 1993, 20(3): 151-155.
- 19) 山下弘二, 盛田寛明, 伊藤和夫: 脳卒中患者に対する呼吸筋トレーニングが呼吸筋力と咳嗽力に及ぼす効果. *理学療法科学*, 2010, 25(6): 849-853.