

原 著

加速度計による咳嗽の定量的診断法

深草 元紀 佐藤 哲夫 古幡 博*

要旨：咳嗽時，体表面に発生する特有な加速度を計測し，これにより咳嗽の頻度や強度など定量的診断の可能性を検討する．当院外来通院中の呼吸器疾患患者 27 名に対し，航空機内の騒音下における確実な音声伝達のための装置を用いて咳嗽を測定した．骨伝導により音声を伝達するシステムのなかで，骨の振動を加速度波形に変換する加速度センサーを体表面に貼付し，咳嗽時に発生する胸壁運動の加速度波形を電圧の変化として捉えた．歩行などの衝撃による加速度を除外するために安静臥床のみで検査を行なった．会話や笑い声などでは，ほとんど胸壁運動の加速度波形は発生しなかった．しかし咳嗽時において特徴的な加速度波形が認められた．音声入力などを用いた測定法では咳嗽とそれ以外の成分との鑑別は困難であるが，胸壁の加速度の波形の上では，明確に鑑別することが可能となった．今後，症例を積み重ね更に診断的価値を高めようと考えている．

キーワード：咳嗽，加速度計，加速度，ヒト

coughing, accelerometer, acceleration, human

緒 言

咳嗽の検出は，以前から音声を中心として行われてきた¹⁾⁻³⁾．こうした測定を行う根底には，咳嗽は人間の発生する音であるという考えがあったからである．しかし音声との鑑別が困難で，複雑な解析が必要であった．またそれ以外の方法による咳嗽の検出は，一般化されたとは言いがたい．

そこで我々は，咳嗽時には，肺や喉頭で発生して音として空中を伝播してゆく音響成分と，胸壁を振動させて伝播する成分とが混在していると考え，空中伝播してゆく成分をマイクロフォンで測定するのではなく胸壁を振動させ伝播する成分を加速度計で測定した．言うまでもなく胸壁も心音が伝播するように音響的振動成分も伝播するが，ここでは心音成分より低い周波数帯の咳嗽を検出する方法を案出したので，ここに報告する．

対象および方法

当院外来通院中の，咳嗽を主訴とする患者 27 名，平均年齢 49.3 歳である．

全例において咳嗽がみとめられており，症例の内訳は肺癌が 9 例と最も多かった．今回は喀痰の要素を除外するため，乾性咳嗽の症例に限定した．

〒105 0003 東京都港区西新橋 3 25 8

東京慈恵会医科大学内科 4

同 内科 4

*同 ME 研究室

(受付日平成 9 年 9 月 29 日)

現在，ヘリコプター機内の著しい騒音下でも常に安定した音声伝達を行う装置が，開発中である．この装置は，頭蓋の骨伝導を利用した音声の伝達系で構成されており，骨の振動の際の加速度を電圧変化の波形に変換する部分を持っている．

我々は，加速度から電圧変化への変換器（以下，加速度計）を使用し，咳嗽を検出しようと試みた．加速度計は，加速度運動を電圧波形に変化させる加速度センサーと，出力用アンプから成り立っている．

背臥位にて安静臥床させた被験者の体表面に，円形で外径 24 mm 厚さ 7 mm の加速度センサーを貼付し，体表面の加速度運動を電圧変化としてアンプから出力後，リアルタイムで記録計に記録させた．加速度センサーの貼付部位は，季肋下部，胸骨上部，胸骨丙部，心窩部下部および背部の計 5 ケ所である．

結 果

図 1 は，各被験者の咳嗽時の体表面加速度運動波形である．

横軸は経過時間であり，縦軸は体表面の加速度の大きさである．縦軸の上向きが，被験者の腹側から背側へ向かう加速度成分の方向に一致する．種々の咳嗽が，加速度運動として捉えられた．なお加速度の大きさには症例間に差があるため，絶対値校正を行った．

図 2 は，同一被験者の種々の体表面部位における，咳嗽時の体表面加速度運動を計測した波形を示す．

図 2 において，咳嗽の最も明確に捉えられた部位は，背側の肩甲骨部であった．次いで腹側の胸骨上部であっ

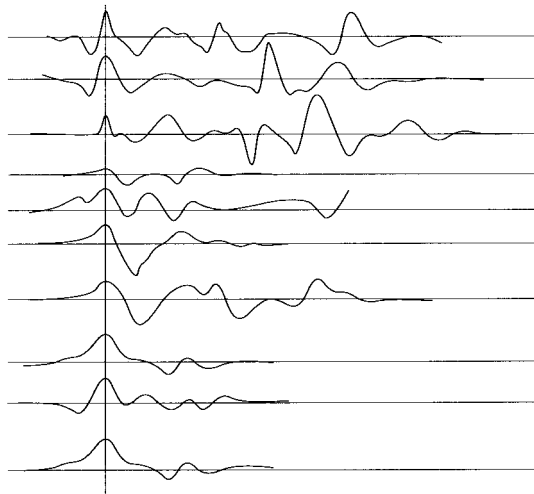


Fig. 1 There were significant differences in the magnitude of acceleration among subjects. The vertical axis corresponds to the acceleration vector moving from the back to the front.

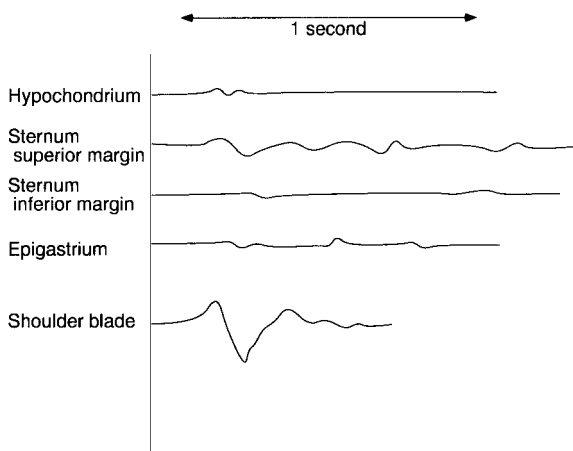


Fig. 2 The body-surface acceleration wave of coughing. The waves show body-surface acceleration during coughing, and were obtained at different sites in the same patient. The horizontal axis shows time and the vertical axis shows acceleration.

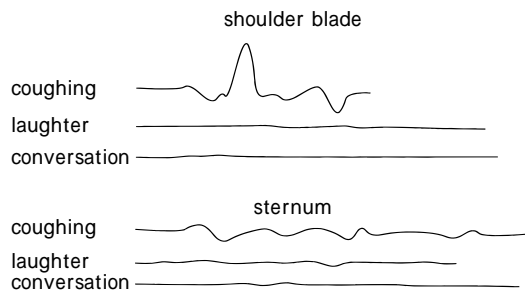


Fig. 3 Coughing was detected most clearly when the sensor was on the shoulder blade.

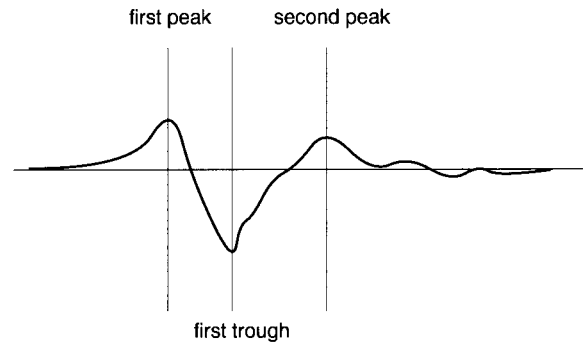


Fig. 4 The vertical axis corresponds to the acceleration vector moving from the back to the front.

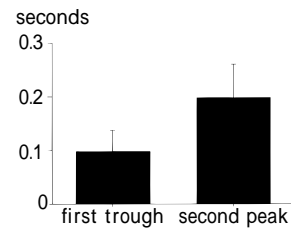


Fig. 5 The time from the bottom of the first trough.

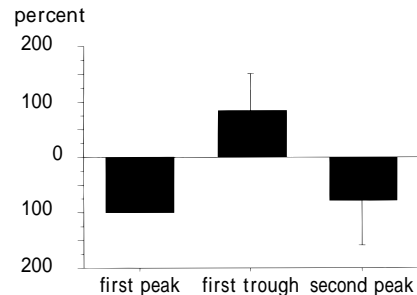


Fig. 6 Loudness of acceleration exercise wave during coughing.

た．よって以下では，背側の肩甲骨部と腹側の胸骨上部の2点における体表面で計測した波形を比較した．

図3では，咳嗽と，笑い声および話し声をこの2点で比較した．背側の肩甲骨部における体表面の加速度運動は，咳嗽とそれ以外の音声の加速度波形における差異が明らかである．よって，以下では背側の肩甲骨部において計測する波形を用いた．

図4は，代表的な計測波形を示す．

咳嗽時の体表面加速度運動波形は，最初に腹側から背側へ向かう加速度を持つ．便宜上これを第1峰とする．次いで背側から腹側へ向かう加速度へと切り替わる．これを第1谷とする．次いで再び背側へ向かう加速度を持つ．これを第2峰とする．なお第2峰の頂上部位までの加速度は，単発の咳嗽でも複数回持続する咳嗽において

も認められたが、いずれの場合も第2峰の頂上部位以降の加速度は急速に減弱した。

咳嗽時の体表面加速度運動波形の時間的推移を計測した。第1峰の頂上部位から第1谷の底部位までの経過時間は 0.098 ± 0.040 秒であり、第1峰の頂上部位を基準として第2峰の頂上部位までの経過時間は 0.199 ± 0.063 秒であった(図5)。

咳嗽時の体表面加速度の大きさは症例間の差が大きい。個人ごとに第1峰の頂上の高さを基準値100として、第1谷底と第2峰の頂上の値を割合で表わした。第1峰の加速度方向を正方向とすると、第1谷の加速度は負方向に $82.4 \pm 67.6\%$ 、第2峰は正方向に $77.8 \pm 81.4\%$ であった(図6)。

咳嗽時の体表面運動は、第1峰から第1谷そして第2峰へ続き収斂する加速度の変化を示した。

考 察

咳嗽のメカニズムは、通常深い吸息から始まり、強制的呼気が続く。この呼気は閉鎖している声門に対して圧縮相として起こり、その後、声門は開き呼息の気流となる。

咳嗽の圧縮相の中で、その呼息筋が収縮し、そして、胸膜腔内と肺胞内圧が速く上昇した後、声門は閉鎖する^{4,5)}。

これらの咳嗽の発生の段階で、体表面を振動させる加速度が発生すると考えられる。なお咳嗽時には、肺や喉頭で発生する音⁶⁾として空中伝播してゆく波形と、胸壁を振動させ伝播する波形とが混在している。咳嗽の測定時に分離採取する場合には、ヒトの最低可聴音域以下の周波数成分が胸壁を振動させる波形であった。なぜなら、ここで測定された加速度波形は、音声として空中伝播する成分より遥かに低い周波数成分であり、約0.2秒程度の周期であったからである。従って、咳嗽時に、肺や喉頭で発生し音として空中伝播してゆく成分をローパスフィルタでカットし、音声を除去して記録した。

またここで測定された加速度成分の原因は、主に胸郭の変位であると考えられる。つまり、位置の変化の波形を微分すれば速度であり、その波形を更に微分すれば加速度になることは周知である。体表面加速度の測定は胸郭の変位であり、咳嗽をこの胸郭の変位成分として測定し得たと考える。

なお、背臥位では背側の肩甲骨部が、咳嗽時の体表面加速度の採取に最も適していた。これは、体表面を振動させる加速度が抑えられる方向であることから必ずしも理由は説明できない。しかし、夜間の咳嗽の検出を目的とする際には身体の長軸の回転運動以外の加速度の少な

いことと合わせて、検出に適している部位と考えられる。

また、いままでの咳嗽の検出計は音声を中心とした研究が多く、複雑な解析を行なわざるを得なかった³⁾。しかし我々の方法を用いれば、リアルタイムに咳嗽とそれ以外の波形が明確に観察できるため、咳嗽の波形発生と同時に追跡可能である。なお歩行時の咳嗽⁷⁾は踵からの加速度成分との鑑別が必要となるであろう。

また長時間にわたる咳嗽の連続記録は、夜間の咳嗽の発生頻度⁸⁾や鎮咳薬の効果の判定に有用である。

結 語

咳嗽は、体表面における加速度運動波形を持ち、笑い声や話し声とは明確な相違を示した。

咳嗽は、背側の肩甲骨部で計測される腹背方向の加速度成分を持ち、最後の加速度の頂上終了まで約0.2秒であった。

咳嗽の加速度は、腹背方向への最大加速度を100とすると、直後に背腹方向へその82%で、終末に再び腹背方向へ78%の大きさを持っていた。

体表面の加速度を測定して咳嗽を検出し、笑い声や話し声とは明確に分離し得た。

文 献

- 1) 大野真理子, 久田哲哉, 毛利昌史, 他: 音響学的手法によるせきのモニターと解析. 日本胸部疾患学会雑誌 1987; 25: 101.
- 2) 関沢清久, 広瀬裕子, 佐々木英忠: 咳モニターシステム. 呼吸 1992; 11: 700-702.
- 3) Hsu JY, Stone RA, Logan SR, et al: Coughing frequency in patients with persistent cough: assessment using a 24 hour ambulatory recorder. European Respiratory Journal 1994; 7: 1246-53.
- 4) Richard S. Irwin, John Widdicombe: cough: John F. Murray, Jay A. Nadel, eds, Textbook of Respiratory Medicine: second ed, Saunders: Philadelphia 1994; 529-544.
- 5) 佐々木憲二: Cough receptor と Bronchoconstriction. 呼と循 1985; 33: 25-31.
- 6) Piirila P, Sovijarvi AR: Objective assessment of cough. European Respiratory Journal 1995; 8: 1949-56.
- 7) Toop LJ, Dawson KP, Thorpe CW: A portable system for the spectral analysis of cough sounds in asthma. Journal of Asthma 1990; 27: 393-7.
- 8) Munyard P, Bush A: How much coughing is normal? Archives of Disease in Childhood 1996; 74: 531-4.

Abstract

Use of an Accelerometer to Measure Coughing

Motonori Fukakusa^{*}, Tetsuo Sato^{*} and Hiroshi Furuhata^{**}Department of Internal Medicine IV^{*} and the ME laboratory^{**}, Jikei University
School of Medicine, 3-25-8 Nishi Shinbashi, Minato-ku Tokyo, 105-0003, Japan

Coughing was detected by measuring body-surface acceleration. Twenty-seven patients with a chief complaint of coughing were studied. The sensor used is an apparatus for sound communication in aircraft, in which cranial vibrations that occur as the pilot speaks are converted into acceleration waves. An acceleration sensor was fixed to the body of each subject. The acceleration of the chest wall was recorded as a voltage change. Subjects rested in bed to exclude acceleration due to body movement. Acceleration waves of large amplitude were recognized during coughing. Conversation or laughter only caused very weak acceleration waves. Sound has often been used as an indicator of coughing, because coughing was thought to be one kind of human vocalization. However, distinguishing speaking from coughing was difficult, and complicated analysis was necessary. We regarded coughing as a movement causing acceleration of the body surface, and measured it without using sound. We plan to collect data on acceleration of the body surface in 3 dimensions simultaneously. After a continuous long-term recorder of coughing is developed the effects of antitussive drugs can be assessed.