多チャンネル体内音センサによる胸部・腹部体内音の計測

Measurement of body-sound at the chest and abdomen with a multi channel body-sound sensor

○正 三輪 洋靖 (産業技術総合研究所)

Hiroyasu MIWA, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, h.miwa@aist.go.jp

This study focused on “body-sound”, as the sounds generated inside the human body and included large amounts of information about physiological and mental conditions. The author then developed a body-sound sensor consisting of stethoscopes, small microphones, amplifiers, an A/D converter and a PC. The body-sound was measured at eight positions around neck, chest and abdomen under the normal breath and deep breath conditions, and analyzed with wavelet transformation to find out their characteristic.

Key Words: Body-sound, Sensor, Wavelet, Stress

1. はじめに

健康的な日常生活を送るためには、健康な肉体と健康な心の両方を保つ必要があるが、われわれは日常生活を通して様々なストレスを受けている。近年では、ストレスによるメンタルヘルスの低下は社会問題になっており、国内における精神疾患患者は年々増えている。特にうつ病患者は、2008年に患者数が100万人を越え、10年前の2倍以上となった[1]。

これに対し、ストレス計測に関する研究は、心理学、生理学、生物学、医学など様々な分野において行われてきた。例えば、大須賀らは単調作業によるストレスを皮膚温度や発汗、心拍、血圧などの生理指標から推定している[2][3]。松村らは2種類の計算課題遂行時における心血管反応を計測し、外部刺激への注意が高まったときに血管優位の反応が現れることを確認した[4]。また、唾液中物質などの生化学的アプローチも多く、唾液中のコルチゾールは急性の精神・身体ストレスを受けた20～30分後に増加することや、慢性的なストレスを受けている人は、そうでない人よりも起床時の唾液中コルチゾール濃度が高いことが知られている[5][6][7]。

これらの従来研究の多くは、実験条件を厳しく統制し、実験室内で高精度な計測システムを用いて行われているのが特徴である。しかし、日常生活では24時間あらゆる場所でストレスを受ける可能性があるため、日常生活におけるメンタルヘルスや精神ストレスの計測・管理技術が期待されている。

そこで、本研究では、精神状態の変化を発していると考えられる生理信号や運動などの非言語情報からストレスを簡易に計測できるシステムの開発を目指してきた。そして、体内から発せられる音、すなわち、体内音に着目し、これまでに、体内音センサの開発と、頸部体内音による心拍数と呼吸数の同時計測を実現した[8][9]。本稿では、体内音の特徴をより深く理解するため、体内音センサを1chから8chへと拡張し、頸部・胸部・腹部体内音の同時計測を行い、計測地点による体内音の特徴を比較した。

2. 体内音センシング

2.1 体内音

ストレス反応に関する生理指標としては、心拍、血圧、呼吸、皮膚温度、皮膚電気抵抗、唾液中コルチゾール濃度、唾液中アミラーゼ濃度などが知られているが、本研究では、人間の体内から発せられる音に着目し、「体内音」と名付けた。ヒトは自律神経を介して、脳が心臓や肺など体内の各器官

Fig. 1 System configuration of body-sound sensor

を制御している。通常、体内の各器官はホメオスタシスによって一定の活動を続けており、その結果として、機械的な音、すなわち、体内音が発生される。例えば、体幹中心部で計測される体内音には、循環器、呼吸器、消化器、関節、筋肉などの音が含まれており、それらの音が重なり合って体内音が構成される。

ここで、何らかのストレス負荷を受けると、そのストレスに対して、脳は身を守るように各器官を制御する。例えば、安静時にはほぼ一定である心拍数は、興奮状態では上昇する。そして、各器官の活動が変化すれば、各器官が発している音も変化する。したがって、体内音には、生理状態や心理状態に関するさまざまな情報が含まれていると考えられる。

2.2 体内音センサ

日常生活におけるストレス反応を計測するセンサには、非侵襲計測、日常生活への最小限の負担、着脱の簡便性が要求される。筆者はこれらの要求を満たすセンサとしては、ウェアラブルセンサが適当であると考えている。

そこで、図1に示す体内音センサを開発した。センサは聴診器(Littmann Master Classic II; 3M, USA)、アンプ付きマイク(AT9903; Audio-Technica)、A/Dコンバータ(TD-BD-8CSUSB; Tokyo Electron Device)とPCから構成され、聴診器によって集められた体内音をPCで録音するようになっている。また、最大8chの体内音を同時計測可能になっている。マイクとA/Dコンバータの仕様は表1および表2に示す通りである。

計測にPCを使用した場合、ウェアラブル性が低下するが、A/DコンバータとPCをICレコーダに変更することで、ウェアラブル性を向上させることができる。

Table 1 Specification of microphones

Type	AT-9903
Model	Backing electret capacitor type
Direction characteristics	All directivities
Frequency response	30 - 18,000Hz
Sensitivity	42dB (0dB = 1V/1Pa, 1kHz)
Impedance	1.5 kw
Dimensions	6.4 mm (diameter)
	18 mm (length)
Weight	1 g

Table 2 Specification of A/D converter

Type	TD-BD-16ADUSB
Input channels	8 ch
Quantization bit rate	16 bits
Sampling Frequency	48 / 32 / 16 / 8 / 44.1 / 22.05 /
	11.025 kHz
Sampling Timing	Simultaneous sampling
S/N ratio	> 60 dB
Support OS	Windows 2000/XP, Linux
PC connection	USB2.0 / 1.1

アラブル性を高めることができる。

2.3 連続 Wavelet 変換による体内音の分析

本研究では、時間周波数解析によって、体内音に含まれる特徴や情報の分離抽出、特徴の理解を試みた。時間周波数解析には、式(1)で表される複素 Morlet ウェーブレットをマザーウェーブレットとした連続ウェーブレット変換(CWT, 式(2))を用いた。CWT の計算には MATLAB (The MathWorks, USA) および WaveLAB toolbox (developed by Buckheit et al. [10])を使用した。

$$\Psi(t) = \pi^{-1/4} e^{imt} e^{-t^2/2} \quad (1)$$

$$W_{\Psi}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (2)$$

W : Wavelet coefficients

$f(t)$: original signal (body-sounds)

a : Scale ($a > 0$)

b : Shift

t : Time

$\Psi(t)$: Mother wavelet

3. 体内音の 8ch 同時計測

計測箇所による、体内音の特徴を理解するため、被験者(男性, 33 歳)に対し、図 2 に示した 8 箇所にて体内音センサの聴診器部をあて、体内音を同時計測した。実験中、被験者は座位姿勢の状態、通常呼吸、および、深呼吸を繰り返し、それぞれの呼吸状態における体内音を計測した。体内音計測は聴診器のダイヤフラム側を使用し、包帯で固定した。サンプリング周波数は 44.1 [kHz]、量子化ビット数は 16 [bit]とした。実験は産総研デジタルヒューマン研究センター内の一室で行い、環境音は十分に小さい音であった。本実験は産業技術総合研究所人間工学実験委員会審査・承認のもと実施した。

まず、計測した体内音に対し、計測開始から 10 [sec]のデータを切り捨て、それに続く 2^{21} サンプル(約 47.6[sec])の体内音データに対して CWT を適用した。図 3 に頸部体内音の波形デ

Fig. 2 Position of body-sound sensor

(a) All data

(b) Enlarged view from 10 to 20 sec

Fig. 3 The body-sound at the neck

ータを、図 4 に深呼吸時の各計測地点における結果を示す。

3.1 通常呼吸時の体内音

安静かつ通常呼吸時の呼吸音の特徴は、心拍由来の音(以下、心拍音)、呼吸由来の音(以下、呼吸音)と、消化器由来の音(以下、消化器音)が聞き取れる。各計測地点における特徴は以下の通りであった。

(1) 頸部左側 (ch1)

心拍音・呼吸音ともにはっきりと観測できた。1.8[Hz]付近に心拍と同期し、1 拍あたり 1 回のピークが確認でき、周波数帯域が上がるとはそのピークは 2 つに分かれ、11~30[Hz]付近で 1 拍あたり 2 つのピークが確認できた。これは、それぞれ、I 音(心室収縮開始期)と II 音(心室拡張開始期)に対応していると考えられ、I 音より II 音の方が高い周波数成分を多く含んでいた。呼吸音は気管呼吸音が中心で、60~690[Hz]に広く分布し、吸気が弱く、呼気が強かった。690[Hz]以上の帯域には目立った特徴はなかった。

(2) 胸部左上 (ch2)

心臓に近いことから、心拍音は明瞭で、16~86[Hz]に分布していた。I 音よりも II 音の方が高い周波数成分が含まれるなど、頸部と近い特徴を持つ。しかし、呼吸音に関しては、気管支から離れていたため、100[Hz]付近に観測されるのみで不明瞭であった。

Fig. 4 CWT of body-sound under deep breath

(3) 胸部右上 (ch3)

胸部左上に近い特徴を持ち、心拍音は明瞭だが、呼吸音は頸部と比べて弱かった。また、呼吸音成分に、心拍の II 音成分が重畳していた。

(4) 腹部(みぞおち)左側 (ch4)

心臓に近く、心拍音をはっきりと観測できた。しかし、頸部で見られた 1.8[Hz]付近のピークは得られず、16~60[Hz]に 1 拍あたり 2 回の鋭いピークのみが確認できた。心拍音の一部

は 350[Hz]付近の成分を有し、広い帯域に分布していることも分かった。一方、心拍音に比べて呼吸音は小さく、172[Hz]付近では、呼吸音成分よりも心拍音成分の方が強いことも分かった。呼吸状態の計測にはローパスフィルタ等によって心拍音成分の分離が必要と考えられる。

(5) 腹部中央 (みぞおち) (ch5)

心拍音が 16~42[Hz]に分布が確認できた。呼吸音は可聴域ではほとんど計測できないが、0.5[Hz]、1[Hz]付近に呼吸波形と同期した信号があり、吸気量に比例して強くなる特徴を持っていた。また、「びちょっ」という胃が活動する音が計測されることがあり、この音は 4000[Hz]付近までの幅広い周波数成分を含んでいた。

(6) 腹部(みぞおち)右側 (ch6)

16~42[Hz]に心拍の I 音・II 音を確認できた。II 音の一部は 200[Hz]付近までの幅広い周波数成分を含んでいた。一方、呼吸音は腹部中央よりは強いが、II 音が重畳していた。腹部中央と同様に消化器の活動音が観測できることがあった。

(7) 下腹部左側 (ch7)

「コツコツ」「びちょびちょ」という 30~345[Hz]の周波数成分を含む消化器音が不定期かつ断続的に計測できた。心拍音・呼吸音は、11[Hz]付近に心拍と同期した不明瞭なピークを計測できる程度で、ほとんど計測できなかった。

(8) 下腹部右側 (ch8)

下腹部左側に近い特徴を持ち、21.5~345[Hz]にかけての消化器音を多く観測できた。しかし、下腹部左側の消化器音との相関は低いことが分かった。心拍音・呼吸音はほとんど計測できなかった。

3.2 深呼吸時の体内音

前節との実験条件の差異は呼吸方法のみであり、心拍音、消化器音の特徴は通常呼吸のときと同様の特徴を有していた。呼吸音については、深呼吸が意識的で、大きく力強い行為のため、通常呼吸よりも呼気、吸気ともに強く発せられ、その様子は CWT の結果にも表れていた。各計測地点における、呼吸方法による体内音の差異は以下の通りである。

(1) 頸部左側 (ch1)

呼吸が大きくなったことにより S/N 比が高まり、通常呼吸では不明瞭であった吸気による音が強く観測された。また、呼気・吸気ともに、86[Hz]~1.3[kHz]と通常呼吸よりも広い周波数成分を含んでいた。

(2) 胸部左上 (ch2)

頸部左側同様、呼吸音に含まれる周波数が 86~600[Hz]とより広い範囲に分布するようになった。また、16[Hz]に呼吸由来の信号が観測され、心拍音の大きさが吸気量によって変化していた。

(3) 胸部右上 (ch3)

頸部左上とはほぼ同様の特徴が現れた。

(4) 腹部(みぞおち)左側 (ch4)

吸気時に「ざざっ」という 345[Hz]~2.7[kHz]という広い帯域に分布する肺胞呼吸音が観測された。呼気時には確認できなかった。一方、頸部・胸部左上、胸部右上で見られた 86~243[Hz]の周波数成分は小さくなった。

(5) 腹部中央 (みぞおち) (ch5)

通常呼吸との差異はほとんど確認できなかった。

(6) 腹部(みぞおち)右側 (ch6)

腹部左側とは異なり、呼吸音は 172~345[Hz]の気管呼吸音が強く、肺胞呼吸音は確認できなかった。

(7) 下腹部左側 (ch7)

通常呼吸との差異はほとんど確認できなかった。

(8) 下腹部右側 (ch8)

通常呼吸との差異はほとんど確認できなかった。

3.3 計測位置による体内音の差異

以上の結果より、頸部は体幹部から発生する体内音が混入しないこと、気管・頸動脈に近いことから、心拍音および呼吸音の計測に適していることが明らかになった。また、胸部・腹部の左右は心拍音が強いのが特徴で、呼吸音と周波数帯域が重なることもあった。腹部中央は呼吸音が小さく、相対的に心拍音が強調されやすい特徴があること、胃を中心とした消化器音の計測が可能であることが分かった。そして、下腹部は、心拍音、呼吸音がほとんど計測されず、消化器音を計測できるという特徴を有していた。

また、非可聴域である 20[Hz]以下においては、ほとんどの場合において計測地点間の相関は低かったが、一部の帯域で心拍・呼吸と同期した成分が確認できた。この帯域に含まれる信号の解釈については、今後の課題として残った。

4. まとめ

本稿では、体内音の特徴をより深く理解するため、体内音センサを用いて、頸部・胸部・腹部体内音の 8ch 同時計測を行い、Wavelet 変換を用いてその特徴を解析した。その結果、頸部体内音が心拍音・呼吸音の計測に適しており、心拍数、心拍間隔、呼吸数を十分な精度で計測可能なことが分かった。また、胸部・腹部は心拍音が強調され、下腹部では消化器音の計測が可能であることも分かった。

今後は、呼吸方法の違いなど、体内音センサによる身体状態の検出や、ストレスによる体内音の変化を明らかにし、ストレス計測に結びつけたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は平成 20 年度科学研究費補助金(課題番号: 20300073)の支援のもと行われました。

文 献

- [1] 厚生労働省; “平成 20 年患者調査”, 厚生労働省統計表データベース, 2009
- [2] 大須賀, 寺下, 下野; “心臓血管系モデルを用いた自律神経指標の解釈”, BME, Vol. 11, No. 1, pp.75-85, 1997
- [3] M. Ohsuga, F. Shimono, H. Genno; “Assessment of phasic work stress using autonomic indices”, International Journal of Psychophysiology, Vol.40, No.3, pp.211-220, 2001
- [4] 松村, 澤田; “2 種類の暗算課題遂行時における心血管反応”, 心理学研究, Vol. 79, 473-480, 2009
- [5] B.M. Kudielka A. Buske-Kirschbaum, D.H. Hellhammer et al.; “HPA axis responses to laboratory psychosocial stress in healthy elderly adults, younger adults, and children: impact of age and gender”, Psychoneuroendocrinology, Vol.29, No.1, pp.83-98, 2004
- [6] S. Izawa, N. Sugaya, N. Ogawa, et al; “Episodic stress associated with writing a graduation thesis and free cortisol secretion after awakening”, International Journal of Psychophysiol, Vol.64, No.2, pp.141-145, 2007
- [7] 井澤, 城月, 菅谷他; “唾液を用いたストレス評価”, 日本補間代替医療学会誌, Vol. 4, No. 3, pp.91-101, 2007
- [8] 三輪, 酒井, 松井; “体内音による心拍・呼吸数計測装置の開発”, 第 48 回日本生体医工学会大会 プログラム・論文集, p.496, 2009
- [9] H. Miwa, K. Sakai; “Development of heart rate and respiration rate measurement system”, Proceedings of 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, pp.Fr.3-5-2, 2009
- [10] WaveLab Ver.8.50, <http://www-stat.stanford.edu/~wavelab/>