349 生体信号を用いた飲酒・非飲酒状態検知に関する研究

The method for drinking detection by biological signals

○ 小島 重行 (デルタツーリング)	前田 慎一郎 (デルタツーリング)
小倉 由美 (デルタツーリング)	正 藤田 悦則 (デルタツーリング)
村田 幸治 (島根難病研究所)	亀井 勉 (島根難病研究所)
正 金子 成彦 (東京大学)	

Shigeyuki KOJIMA, Delta tooling Co., Ltd., 3-1, Taguchi-Kenkyudanchi, Higashi-hiroshima, Hiroshima
 Shinichiro MAEDA, Delta tooling Co., Ltd.
 Yumi OGURA, Delta tooling Co., Ltd.
 Etsunori FUJITA, Delta tooling Co., Ltd.
 Kohji MURATA, Shimane Institute of Health Science
 Tsutomu KAMEI, Shimane Institute of Health Science
 Shigehiko KANEKO, The University of Tokyo

Recently, a system which can monitor a car driver's biological condition and warn the driver of drowsiness is being proposed. Many researchers have presented evidence that biological signals like brain waves, pulsation waves, and cardiac beat, are different between a normal state and a drinking state of a person beforehand. However, current systems to measure those signals are assumed to be used in a laboratory or with invasive monitoring. A basic theory of the system that prevents drunken driving beforehand is constructed by establishing a new algorithm that distinguishes the person's state and ordinary drinking.

Keyword : Sensor, Measurement, Monitoring, Non-aggression Biological Signal, Drink-driving

自動車用シートに着座した人の飲酒の有無を判別できる非侵襲生体信号センシングシステム付シートを新たに試作し、このシートを用いた飲酒運転検知のための実験検証を行った。シートの背部に内蔵された空気圧を利用した生体信号検出用センサ（以後、エアパックセンサと呼ぶ）を用いて得られた被験者の飲酒前後における大動脈近傍の脈波（以後、エアパック脈波と呼ぶ）の原波形を図 A1 に示す。飲酒の前後で比較してエアパック脈波の波形ピークが上昇しているのがわかる。図 A2 はエアパック脈波の加速度脈波から得られる飲酒前後の加速度脈波加齢指数（以後、SDPTGAI と呼ぶ）の時系列波形を示す。指尖容積脈波の SDPTGAI を基準値として、基準値より高い領域、基準値近傍の領域、基準値より低い領域の 3 つに分けて比較した。飲酒前後で比較したところ、基準値より低い領域で飲酒後に SDPTGAI の増加傾向が認められた。これはエアパック脈波での SDPTGAI のカオス解析あるいは、パターンマッチングによる飲酒検知の可能性を示唆しているものと考えられる。

Fig.A1 エアパック脈波原波形 (被験者 A)

Fig.A2 エアパック脈波 SDPTGAI 比較 (被験者 A)

1. 緒言

近年、飲酒運転による交通事故が社会問題として大きく取り上げられるようになってきている。国内でも国土交通省がアルコール・インターロック装置の技術課題検討会を開催するなど、アルコール・インターロック装置の搭載に関する動きがでてきているが、呼気による飲酒検知装置の場合、装置の無効化、同乗者の呼気でごまかすといった懸念もあり、他の有効な検知システムの開発が望まれている。

著者らは既に前報¹⁾でシートに内蔵可能な空気圧を利用したエアバックセンサを用いた非侵襲の飲酒状態検知の研究について報告している。前報では30分間の計測によって得られた脈波の周波数解析を行うことで、飲酒の有無の判定が可能であることを示した。しかし、呼気アルコール濃度のような短時間計測での判断は難しく、シートに内蔵されたエアバックセンサが被験者に異物感を与え、被験者のシートへの座り心地を悪くする問題もあった。

そこで本研究では、新たにセンサ内蔵シートを試作し、被験者の座り心地を向上させ、さらにエアバックセンサの改善をして、より短い時間での非侵襲での飲酒状態の検知の可能性について検討を行った。

2. 実験

2・1 実験装置

図1に今回実験に用いたシートと実験風景を示す。エアバックセンサの内部は、ばね部材として3次元立体編物が挿入されている。エアバックセンサは被験者の筋肉との間で内・外圧の差を等しくして、圧力変動を捉えるものである。そのため、エアバックのばね特性は人間の筋肉に近似したばね特性を付与している。またシートは、生体信号を非侵襲で採取できる3次元立体編物を用いた張力構造体で構成されるシートを使用した。

また比較用の生体信号として、指尖容積脈波（株式会社アムコ製フィンガークリッププローブ SR-5C）、心電計（日本光電工業株式会社製心電計 ECG-9122）、呼気アルコール濃度（東海電子株式会社製 ALC-mini）の計測も行った。

Fig.1 Experimental apparatus

2・2 実験方法

健康な20～40歳の成人男性3名を被験者として実験を行った。被験者には、あらかじめ飲酒実験とは別の日にエタノールパッチテストを行い、3名とも活性型（NN型）であることを確認した。尚、被験者の体重および身長は、Aが体重68kg身長178cm、Bが65kg身長171cm、Cが58kg身長166cmの被験者である。非侵襲センサであるエアバックセンサと比較用センサによる生体信号の計測は、飲酒前に20分間の計測を1回行い、その後、飲酒（ビール：アルコール濃度5%：500ml）をして、飲酒後に最も血液中のアルコール濃度が高くなるとされている20-40分後の20分間に飲酒後の計測を行った。また、図2に飲酒前と飲酒後の生体信号計測の前後で、呼気アルコール濃度の測定を行った結果を示す。

Fig. 2 呼気アルコール濃度

3. 実験結果と考察

図3、4に被験者Aの場合の指尖容積脈波とエアバック脈波の原波形とその1次微分波形、2次微分波形を示す。また、図5、6に被験者Bの場合の指尖容積脈波とエアバック脈波の原波形と1次微分波形、2次微分波形を、図7、8に被験者Cの場合の指尖容積脈波とエアバック脈波の原波形と1次微分波形、2次微分波形を示す。指尖容積脈波とエアバック脈波の原波形を比較すると、若干波形の形状が異なるが、ほぼ同一の周波数となっていることがわかる。また、指尖容積脈波では飲酒の前後でそれほど大きな変化が見られないが、エアバック脈波では飲酒によって脈波の波形ピークが上昇しているのがわかる。特に飲酒による呼気アルコール濃度の上昇の大きかった被験者A、Cでは顕著にその傾向が見られる。これは指尖容積脈波が末梢系であるため、他の外部刺激の影響も受けることにより、指尖容積脈波では飲酒の影響が見えにくくなっているためと考えられる。一方、エアバック脈波は大動脈近傍の体幹の脈波であると考えられ、外部刺激の影響は受けにくく、飲酒による血管への影響のみが大きく現れたためであると考えられる。

次に指尖容積脈波とエアバック脈波の1次微分・2次微分波形を比較してみると、微分により指尖容積脈波とエアパッ

Fig. 3 脈波原波形・微分波形
(被験者 A・飲酒前)

Fig. 5 脈波原波形・微分波形
(被験者 B・飲酒前)

Fig. 4 脈波原波形・微分波形
(被験者 A・飲酒後)

Fig. 6 脈波原波形・微分波形
(被験者 B・飲酒後)

ク脈波双方に類似したピークが現れていることがわかる。特にエアバック脈波の方が、顕著にこのピークが現れている。これは一般に動脈圧波形では、心臓の収縮期、拡張期の切り替わりの近傍で切痕が生じる。この切痕の状態から血管壁の硬化度合いなどを知ることが出来るが、脈波の2次微分波形である加速度脈波を用いて切痕をより明確に捉え、血管年齢の推定が出来ることが知られている²⁾。したがって、この切痕は心臓の収縮期、拡張期の影響を現していると考えられ、心臓に近い大動脈波を捉えていると考えられるエアバック

脈波の方が切痕の影響による微分波形のピークが強く出ているためと考えられる。また、一回の心臓の収縮・拡張により生じる切痕の影響を受けた2次微分波形ピークの一群は、飲酒の影響によって、右上がりの傾向を示している。加速度脈波においては、血管壁が柔らかくなった場合と同じ傾向であるが、エタノールの薬理学的影響から血管の拡張が生じることが知られており、このような現象が起きたと考えられる。

図9は指尖容積脈波とエアバック脈波の被験者毎の飲酒前後における原波形周波数解析結果を示す。指尖容積脈波とエ

エアバック脈波を比較すると飲酒有無に係わらず、3名の被験者全員ほぼ同一の周波数特性の傾向を示し、エアバックセンサが血行動態を捉え、脈波をうまく採取出来ていることがわかる。また、被験者 A, Cは飲酒により、脈波が高周波数帯にシフトしていることがわかった。これは前報¹⁾の指尖容積脈波での結果と同様であり、飲酒の影響であると考えられる。しかし、被験者 Bにおいては飲酒の前後で、周波数帯がほとんど変化していない。被験者 Bは、3名の中では呼気アルコール濃度もそれほど、上がっておらず、他の2名と比較して

Fig. 7 脈波原波形・微分波形
(被験者 C・飲酒前)

Fig. 8 脈波原波形・微分波形
(被験者 C・飲酒後)

(a) 被験者 A

(b) 被験者 B

(c) 被験者 C

Fig. 9 脈波原波形周波数解析

Fig. 10 心拍変動ウェーブレット解析

も酒に強く、若い被験者であるため、アルコールの影響があまり出ていないためであると考えられる。図 10 は、心電図により得られた心拍数変動のウェーブレット解析結果を示す。また図 11 には指尖容積脈波から得られた心拍数変動のウェーブレット解析結果を示し、図 12 はエアバック脈波から得られた心拍数変動のウェーブレット解析結果を示す。一般に HF(0.15-0.4Hz)は、副交感神経の心拍への影響を表し、LF/HF(LH は 0.04-0.15Hz)は交感神経の心拍への影響を表す。図 10 と 11 を比較すると LF/HF がほぼ同じ位置のピークを出しているが、飲酒前後で大きな差が見られない。しかしながら、図 12 に示したエアバック脈波では、飲酒後に自律神経

Fig. 11 指尖容積脈波ウェーブレット解析

Fig. 12 エアバック脈波ウェーブレット解析

系の活動がうまく捉えられていない。これは飲酒による血管のみの影響が大きく現れたことを示し、体幹の脈波であるエアバック脈波の原波形に飲酒による影響が生じたものと考えられる。

図 13 は指尖容積脈波とエアバック脈波の加速度脈波から得られる飲酒前後の各被験者の SDPTGAI²⁾の時系列波形を示す。SDPTGAI は血管年齢の推定に用いられる指標であるが、長年の生活習慣病から来る血管壁の動脈硬化による影響だけでなく、血管内圧の上昇といった一時的な外部刺激などによる影響も受ける指標であることが知られている。この事実を逆に利用して、かつ図 12 の結果から飲酒の有無の変化が捉えられるのではないかと考え、今回の実験データから検討を行った。図 13 に示した指尖容積脈波から得られた SDPTGAI は、飲酒によって低下していることがわかる。脈波原波形の周波数解析や心拍変動のウェーブレット解析では、飲酒の判別の困難であった被験者 B でも飲酒による SDPTGAI の低下が確認されており、飲酒の判別に有効な指標となる可能性があることがわかった。一方、エアバック脈波から得られた SDPTGAI では、被験者 A, C の場合、指尖容積脈波の場合と同様に飲酒時に低下傾向が見られるが、被験者 B の場合、単純な比較では飲酒の有無の判別が難しいことがわかる。そこで図 14, 15, 16 に示すように指尖容積脈波の SDPTGAI を基準値として、エアバック脈波の SDPTGAI を基準値より高い領域、基準値近傍の領域、基準値より低い領域の 3 つに分けて飲酒前後で比較した。その結果、被験者 3 名とも基準値より低い領域で SDPTGAI の増加傾向が認められた。これは、エアバック脈波による SDPTGAI のパターンマッチングによる飲酒検知の可能性を示唆しているもの

(a) 被験者 A

(b) 被験者 B

(c) 被験者 C

Fig. 13 SDPTGAI 比較

(a)被験者 A, 飲酒前

(b)被験者 A, 飲酒後

Fig. 14 エアバック脈波 SDPTGAI 比較 (被験者 A)

(a)被験者 B, 飲酒前

(b)被験者 B, 飲酒後

Fig. 15 エアバック脈波 SDPTGAI 比較 (被験者 B)

(a)被験者 C, 飲酒前

(b)被験者 C, 飲酒後

Fig. 16 エアバック脈波 SDPTGAI 比較 (被験者 C)

と考えられる。また変化の少ない指尖容積脈波の SDPTGAI を基準にしてエアバック脈波の SDPTGAI の拡散状況を捉えることで飲酒の有無を判断できる可能性が示唆された。

4. まとめ

自動車用シートに内蔵されたエアバックセンサを用いて、大動脈近傍の脈波を捉えることが可能であることを示し、この脈波は指尖容積脈波に近い周波数特性を持ち、飲酒によって脈波の原波形のピーク値が上昇していることがわかった。また指尖容積脈波の SDPTGAI を基準にしたエアバック脈波の SDPTGAI の拡散状況のパターンマッチングにより、比較的短時間の計測により、エアバックセンサによる飲酒検知の可能性が示唆された。

今回得られた結果から考えて飲酒時の SDPTGAI はカオス性を有しているのではないかと考えられ、今後は SDPTGAI のカオス解析を行い、より精度の高い飲酒検知センシングシステムの構築を検討していく予定である。

参考文献

- (1) 小島重行, 我田茂樹, 落合直輝, 前田慎一郎, 藤田悦則, 金子成彦, 榎園正人, 槌田雄二, 秋田昌憲, 亀井勉, 村田幸治, 飲酒状態の非侵襲センシングシステム, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No37-07, 15-18, 2007.
- (2) 高沢謙二: 加速度脈波による血管年齢の測定と臨床的有用性. 第 38 回加速度脈波・脈波研究会講演予稿集, 2-7, 2004.