

特 集

循環制御機能をコントロールすることができる 乗用車の可能性の展開

山家 智之*, 金野 敏*, 白石 泰之*,
 劉 紅煎*, 川島 隆太*, 阿部 恒之**,
 杉田 典大***, 吉沢 誠***, 関 隆志****

緒 言

循環制御機能は生命を維持する最も大事な制御系の一つであり、その破綻は疾病の発生はもちろん生命予後にも直結する重大な問題となる。したがって人体の循環制御機構のフォローアップは、病院や医療機関などだけで進めるだけでなく、日常生活の中で行うことができれば、理想的な1形態を形成し得るものと考えられるということになる^{1~3)}。本邦においては、メタボリックシンドロームの概念の敷衍に伴い、その1構成要素である高血圧症の存在も、その臓器障害を惹き起こす問題の重要性などが改めて注目されつつあり、自律神経を介した血圧反射の重要性なども研究が進んでいる^{4~6)}。

また、高齢化社会を迎えつつある本邦では、高齢者の安全運転能力の問題は、社会経済学上も重要な課題になりつつあるが^{7~11)}、インフラ整備の遅れた田舎の地域社会では、この問題は重要であり、車がなければ生活が成り立たない地域も珍しくはない。

そこで、高齢ドライバーの健康を維持し、できれば健康を増進することができる循環制御系のコントロール機能を持ち、かつ、できるだけ運転能力を向上させる機能を具現化したシステムが保有された乗用車と言う発案が生まれることになった。本稿では、自律神経機能、および、血圧反射機能

などに着目して、乗車すればより自律神経機能が改善する方向性について可能性を検討する。このような方向性の開発により、高齢者、あるいは肉体的ハンディキャップを持つ運転者において、自律神経機能を整え、残存する肉体能力を十全に発揮させ、あるいは、更に向上させることで、若年者に匹敵する安全運転、あるいは、それを若年者の運転の安全性を凌駕するような運転能力を発揮させることができる将来性が期待される。

かかる社会的背景に則り、東北大学モビリティ&スマートエイジングプロジェクトでは、生体に必ず発生する自然現象である「加齢」に対して、不自然に対抗しようとする「アンチエイジング」ではなく、高齢者の英知を大事にし、残された肉体能力を十二分以上に発揮させて、社会・経済・政治的な活動を、豊富な経験に則って、できる範囲で頑張っていただくという「スマートエイジング」の方向性を探求している¹²⁾。そこで、その一環としてこの高齢者の健康を増進し、かつ運転能力を向上させる循環制御系コントロールプログラムの研究に着手し、様々な研究成果を上げつつある。本稿では、これまでの自動車と健康に関する過去の研究を概説し、かつスマートエイジングプログラムの一端を紹介し、高齢化社会における乗用車運転能力と、自律神経機能の問題について考察を加える。

循環制御コントロール機器としての乗用車における生体センシング

現代の車社会では、乗用車はもはや生活に必要な

*東北大学加齢医学研究所

**同 大学院文学研究科

***同 サイバーサイエンスセンター

****同 大学病院漢方内科

な最大な要素の一つであり、地方では、過疎化や、生活資源の地域中心都市への過度な集中に伴い、自動車なしでは生存そのものすら不可能な地域も拡大しつつある。したがって、現代社会に必須で、一日の生活に必ず存在する車を運転する時間を、循環制御機能の治療などに応用することができれば、その医療における発展の可能性は無限ともいえる。

しかしながら、高齢者社会が自動車社会として成立するまでには、もちろんいくつかの問題もある。例えば、安全な運転行動を成立させるには、若年者においても高齢者においてもいくつかの固有の弱点と思われる運転行動様式がある。若年者における運転の問題点として、特にA型行動パターンを持つ若年運転者などでは、追い越され、追い越しなどの運転行動における行動特性において、安全運転上問題になるような乱暴な運転行動が多く、交通事故に結びつきやすい点などが存在する。高齢者における運転の問題点として、視力や視野角度などの側面において、若干、若年者と比較してハンディがあり、また急場における反応性においても、いささかの問題なしとは言い切れない。長時間運転後の疲労蓄積の度合い、また疲労時の運転行動などにおいても、年齢で差がある側面は

否定し切れないかもしれない^{13,14)}。

そこで、もし、高齢者が家用車の運転中に、乗用車が運転者の心臓血管機能、高次機能、および自律神経機能を適切に定量的に判定し、循環制御機能を最適な状態へコントロールする刺激を与え、最適な運転行動を行い得る状態に自律神経を維持することができれば、高齢者の安全運転に資することができる乗用車が具現化できる可能性があるかもしれない(図1)。

そこで、東北大学のモビリティ & スマートエイジングプロジェクトは健康を増進できる乗用車の開発に着手し、様々な方向性を探っているが、そのコンセプトの具現化の1形態を図1に提示する¹⁵⁾。

これまで、東北大学以外においても、乗用車の運転中の運転者の体調モニタリングには様々な方向性がトライされており、ハンドルに装着した心電図電極や、脈波モニター、ドライブシートを使ったセンサにも様々なシステムが各社で開発されている^{16,17)}。我々も、ハンドル装着型心電図モニター装置の開発には長年従事しており、急な運転動作を行ったりしなければ、かなり安定した記録が可能であることは確認している。また我々は、脈波計測システムもハンドル装着型は比較的、実現の可能性は早いと考えている。光電式の容積圧

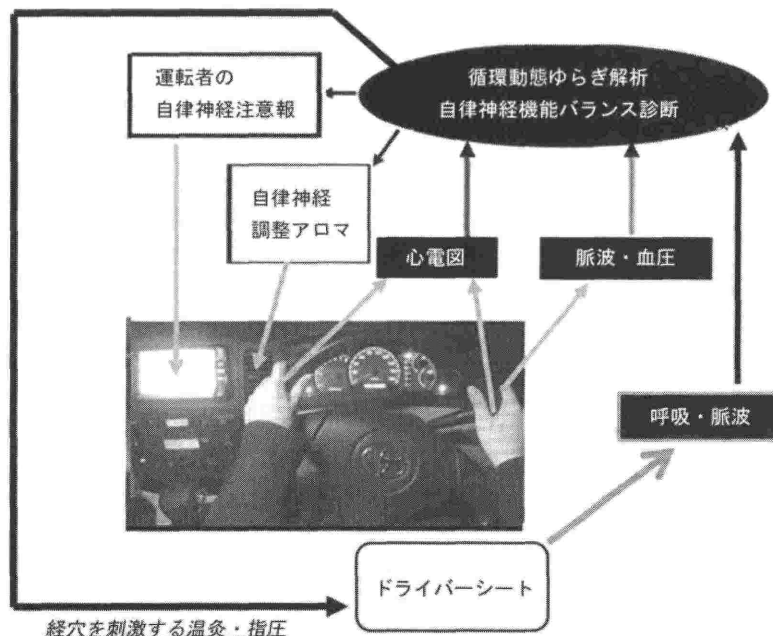


図1 循環制御機能をコントロールする機能を持つ乗用車の概念図

脈波計測システムはシステムが安価で、汎用性が高く、どのような乗り物にも応用しやすいシステムである^{18,19)}。このような指尖容積脈波を使うことで、「血管年齢指数」などのパラメータに代表される体調モニターを具現化できるという方向性は多くの研究者によって進められ、様々な方法論が提案されている^{18~20)}。基本的には、脈波の波形における反射波の影響を計測し、定量化された血管年齢指数として表示するシステムであり、動脈圧波形に観測される反射波は、末梢の動脈系から戻ってくる波形を反映しているため、動脈硬化の影響や、自律神経支配による動脈壁の緊張度が共に影響する。したがって、加速度脈波加齢指数に反映される血管のスティフネスから血管の年齢として翻案することもできるが、自律神経支配による動脈系の緊張度の表われとして、体調のモニタリングデバイスとしても機能することが可能になる。そこで、この脈波のパラメータを応用すれば、運転中の心臓血管機能の診断と同時に、自律神経機能診断を試みることが出来る原理となる。

そのために動脈圧波形の計測結果による時系列曲線を二回微分して加速度脈波(図2)として解析すれば、トレンド成分を除去することができ、動脈の脈波波形に含有される反射波の影響を定量的に評価できる。このような方法論により、血管年齢指数に代表されるようなパラメータが計算できるので、自動車のドライバーは、ハンドルを握り、指先を接触させるだけで、わずか一心拍の記録時

間にて、反射波に現われる動脈にスティフネス情報から自律神経機能をカーナビのディスプレイなどに表示できることになる。

また、東北大学の試作システムでは、ドライバーシートにはエアバッグ式のセンサが内蔵される。このシステムにより、運転者の呼吸および脈波を計測することができる。東北大学で実験が進むドライビングシート内蔵型のアエアバッグシステムからの抽出信号を図3に提示する^{21~25)}。エアバッグ抽出時系列信号から信号処理の技術で、呼吸成分と脈波成分を定量解析することが可能になってい

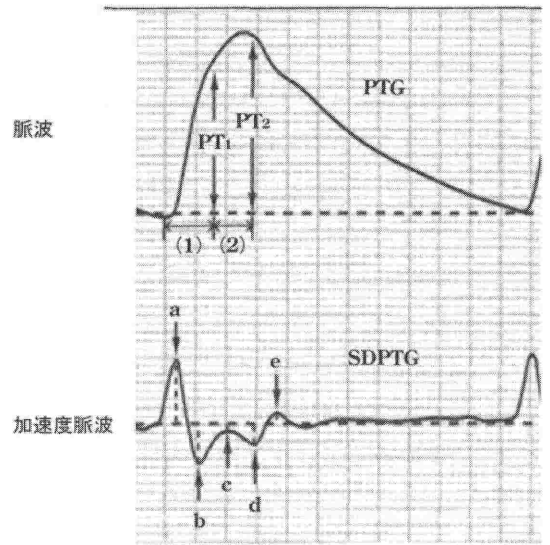


図2 加速度脈波の概念図

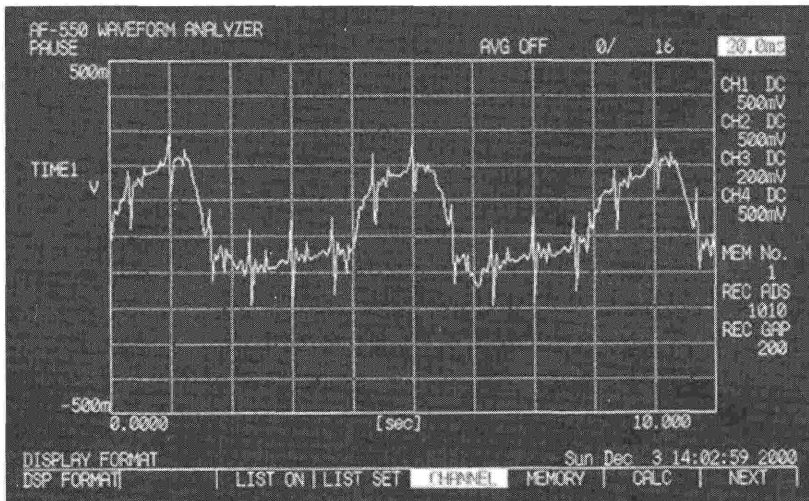


図3 ドライビングシート内蔵エアバッグ空気室からの抽出信号

る。この脈波成分の成因は、下行大動脈の拍動に起因することが明らかになっている。ドライバーシート内蔵エアバッグから下行大動脈の脈波情報が検出できるので、この時系列信号にハンドル心電図の解析結果と合わせれば、脈波伝播速度の計算も可能になる^{21~24)}。脈波伝播速度は、健康な被験者では血圧に比例することも明らかになっており、腕時計型の血圧計などで商品化もされているので、原理的には、運転者がドライバーシートに座ってハンドルを握ったとたん、約1心拍前後の計測時間で、血圧の算出が可能になる。すなわち洞調律であれば、原理的には1秒前後で、心電図、血圧と並んで、加速度脈波による加速度脈波加齢指数(SDPTGAI)、脈波伝播速度やCAVIに換算されるstiffness parameter β から定量された血管年齢指数などで表わされる健康パラメータまで、自動車の始動時にカーナビのディスプレイに表示できることになる^{21~24)}。また、運転者の呼吸成分の抽出も可能であり、運転のスタート時に、ゆっくりエンジンの暖気運転を行い、急発進をせずに、数回呼吸するまでの計測時間を待てれば、呼吸や心拍、血圧のゆらぎまで解析して表示することができる。これにより、交感神経と副交感神経のバランスが解析できるので、運転手の状態に応じた適切なアドバイスを与えることも可能になる。現在、カーナビゲーションシステムなどに、音声アドバイス機構が設置されているが、道案内代わりに健康案内を行うことも、適切な定量診断の上であれば、可能であるかもしれない。東北大学では、心拍の反応性に現われる心臓血圧反射機能だけでなく、動脈の血圧反射機能も計算できる方法論を開発しているので、生体の多次元診断が具現化できることになる²⁶⁾。これらのデータは、自動車のカーナビのパソコン内にストックすることもできる。また、セキュアなシステム開発を行えば、そのまま病院にインターネットでリンクすることも可能になるので、不整脈の発生時などの緊急アラートシステムとしても展開することが可能になる。

生体時系列情報に基づく自律神経リハビリテーション

このように運転中に、脈波情報、心電図情報、心拍変動、脈波伝播速度、呼吸センシングから計

算される自律神経・血行動態時系列データに基づき、体調に応じた適切なアロマ刺激を空調で供給し、また、自律神経機能の状態に応じて、経穴に対する適切なマッサージ刺激や、温灸、冷灸などの東洋医学、あるいは、統合医療における治療原理に準じた適切な刺激を与えることで、循環制御機能をコントロールする機能を持つ自動車が具現化できる可能性がある(図1)。

自律神経リハビリテーションにより運転者をよりバランスがとれた健康な方向へシフトさせ、運転者の運転能力を十分に引き出し、安全運転を遂行するだけでなく、健康を維持することができるシステム開発の方向性が考えられる。例えば空調から供給できるアロマには、様々な鎮静効果や興奮効果の存在が指摘されており、ローズ、ラベンダー、ベルガモットなどのアロマには鎮静効果が、レモン、オレンジ、ジャスミンなどには興奮効果が報告されており、交感神経、副交感神経のバランスコントロールに有効である可能性がある。この作用を応用すれば、自律神経を自動的にアロマで制御する乗用車が具体化できる理論になる(図4)。また、経穴に対する東洋医学的な施術はある程度確立され、欧米では医療費削減の切り札として注目されている。したがって、シート内蔵プログラムで経穴に対する指圧刺激、温灸刺激を与えれば、これも自律神経のリハビリテーションに有効であることは自明と思われる(図5)。

また、基礎疾患を持っている運転者に対しては、定期処方に準じた温灸治療などの方法論も考えられる。例えば、いわゆるお腹の弱い患者などが、体調の悪い状態で運転を行わなくてはならない場合等でも、安全ベルトなどに内蔵した天枢等の経穴に対する自働温灸治療装置の作動により、運転中に温灸治療を行い、体調を整えるリハビリテーション機能などの展開も考えられている。

そこで、空調、アロマ、および、シート内蔵経穴刺激プログラムによる循環制御機能をコントロールすることが出来る自動車の方法論開発に着手した。

運転者の循環制御機能のコントロールの方法論の展開

日本では、基本的に地方財政は崩壊しているのがデファクトスタンダードになりつつあり、特に

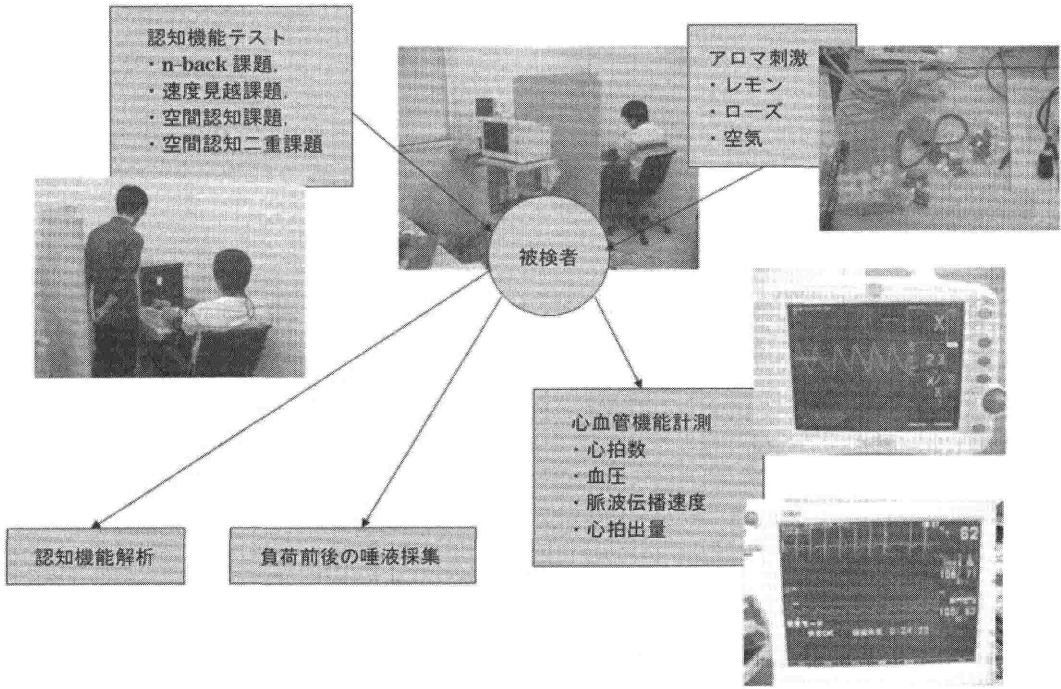


図4 運転行動シミュレート認知機能検査と、芳香負荷の生体反応実験

地方では、公共交通手段などのインフラ整備が整う見込みは全くない。さらに困難な状態であるのは公的病院財政であり、既に地方の公的病院は、苛政により倒産するのが当たり前という社会状況が到来しつつある。日本では高齢者は病気になることができないという状況が具現化しつつあり、公的な交通手段がすべて崩壊している以上、地方では、例えハンディキャップを持つ高齢者であろうと、自分で運転して生活を維持し、病院などへ通院する以外に、事実上、選択肢はない。すなわち、現実を顧みれば、例えハンディキャップがある高齢者でも、体調不良の場合でも、できるだけ運転を見合わせていただくだけでなく、必要な場合は、運転者の自律神経機能に表象される体調に応じて、循環制御機能のコントロールを行う何らかの方法論が必要とされるということになる。

日本の自動車技術は世界に冠たる存在であり、現在の乗用車の空調は、たいへん優れたシステムが各社で開発されており、温度・湿度を目標値に設定して自動制御することも、風向きを自動調整することも、一定のゆらぎを与えることも技術的に可能である。

そこで運転中にドライバーの心臓血管機能、自

律神経機能、および血圧反射機能などを適切に定量診断し、体調を整えるアドバイス、体調に応じた運転のアドバイスをカーナビに表示し、あるいは、音声でアドバイスを行い、空調からは、体調に合わせた適切な温度・湿度に維持する刺激システム、および、体調を整え、運転能力を向上させるアロマを供給し、ドライバーシートからは、東洋医学の経穴の部位に対して、体調に応じた適切な指圧、温灸などの刺激が加えられる循環制御機能コントロールシステムの発案を行い、特許の申請を東北大学などから行っている¹⁵⁾。

過去にこのような方法論で運転中の体調をモニターする方法論はいくつか提案が行われており、デンソーからは、心拍変動でモニターする方法論、ケーアンドエスからは、運転中の発汗などで体調をモニターする装置などが特許申請されている^{27,28)}。

我々のスマートエイジングプロジェクトでは、これらの様々な生体情報に基づき、運転者の自律神経機能を制御し、アロマ、経穴物理刺激などの方法論により、自律神経バランスをコントロールし、体調を整えることができる可能性についての研究に着手した。体調を診断する方法論として心拍、脈波、血圧、脈波伝播速度などから

解析される循環動態，脈波の二次微分から計算される指数，心拍変動，脈圧変動の周期性解析によるゆらぎ解析，脈波伝播速度から解析される動脈スティッフネスやそのゆらぎ成分，更に心拍に求められる心臓の血圧反射機能や，動脈の血圧反射機能の定量診断指数を，カーナビへのフィードバックや，空調，アロマ，指圧，温灸の稼働開始にスイッチングする循環制御機能のコントロールの方法論を計画している。

運転シミュレーション行動中の自律神経機能のコントロール

感情的な行動で事故を起こすと言う側面では，高齢者の方が，若年者より安全な運転を行う傾向は認められる。しかしながら，視力の問題や，反射神経，運転の巧緻性では，若年者に比してハンディは否めない。そこで，運転行動における安全運転能力をシミュレートする認知機能検査プログラム開発を試みた。

具体的には，運転中に，空間における異物の注意能力を計測するための，ディスプレイ内でランダムな場所に出現するターゲットにボタン押しでレスポンスする空間注意課題，更に空間注意課題に計算課題を加え，複雑な認知機能能力を定量化する空間注意+加算課題。更に，また，空間配置におけるひとつ前の刺激位置を思い出す空間配置Nback課題，遮蔽物の中に侵入して一時視界から隠れたポイントの再現のタイミングを推定する能力を検出する速度見越し課題等の4つの認知機能テストを行い，自律神経と運転能力の関連性について探求した。

倫理委員会の厳正な審査を経て，健康な男子医学生ボランティアを対象に，インフォームドコンセントを書面で採取し，様々なアロマが，運転行動中の高次脳神経機能による行動パターンをシミュレートした運転能力機能検査中の自律神経機能や運転実行機能に与える影響について研究を行った。アロマはレモンとローズの市販の芳香剤を用い，運転能力を判定する様々なシミュレーションテスト中に自律神経機能を定量診断するための血行動態時系列計測を試みた。心拍変動は心電図モニタリング装置，脈波は橈骨動脈圧センサ，心拍出量は，インピーダンス式心拍出量モニタリン

グデバイスを用いて解析した。血行動態定量診断はリアルタイムで可能であるが，ゆらぎ解析，血圧反射機能解析のために，パーソナルコンピュータ内にデジタルデータとして記録し，オフライン解析を試みた。東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の認可の後，インフォームドコンセントを採取し，実験前にアラウザルの反応性のアンケート調査を行っている²⁹⁾。

具体的には，資生堂におけるアロマデータ収集法に準じ，脱脂綿を入れた小瓶にローズ(180 μ l)とレモン(60 μ l)の精油を滴下し，この小瓶を被験者の頸部にペンダント状に装着させてアロマ刺激を試みた。実験を三日間にわけ，順序はランダムに，無香料，ローズ香料，レモン香料による刺激を，日を変えて行った。風邪をひいて香りがわからなくなった被験者と，約束を守れず計測に来なかった被験者を除いて解析を行うことになった。

胸部 NASA 誘導による心電図記録 (ECG100C, Biopac system)，橈骨動脈に接触させた動脈圧センサによる動脈圧時系列曲線，胸部インピーダンス法による心拍出量時系列曲線 (Dash3000, GEJapan, Tokyo) の記録を行った。

また，これらの実験と並行して，脈波診断装置 (U-medica Inc, Osaka Japan) を用い，3分間前後の軽いシート内蔵自動マッサージ施行前後において，血行動態，自律神経機能の変化を加速度脈波診断と，脈波変動ゆらぎ診断から解析を行っている。実験は，Medical Chair3A (Family, Japan) を用い，様々なモードで経穴指圧刺激を試みている。図5に脊椎と代表的経穴の位置関係を提示する。この基本的位置関連に則り作成された経穴のエリア別分類による指圧刺激が具現化される。実験では，これらを順次刺激する全身指圧モードも試みている。

体調の勝れない高齢者に対して東洋医学ではルーチ的に百草などを経穴の上で燃やして温熱刺激を行う温灸療法が試みられる。これは，一定の部位を温熱刺激する方法論なので，当然，定量的，科学的な方法論で代替療法を考えることができる。そこで東北大学では，定量的，科学的な温灸療法を目指して新しい方向性による温灸治療装置を發明し，特許申請を行ったが，この方法論はドライバシートに内蔵することもできる。

現在まで，背部の経穴温灸刺激により血圧反射機

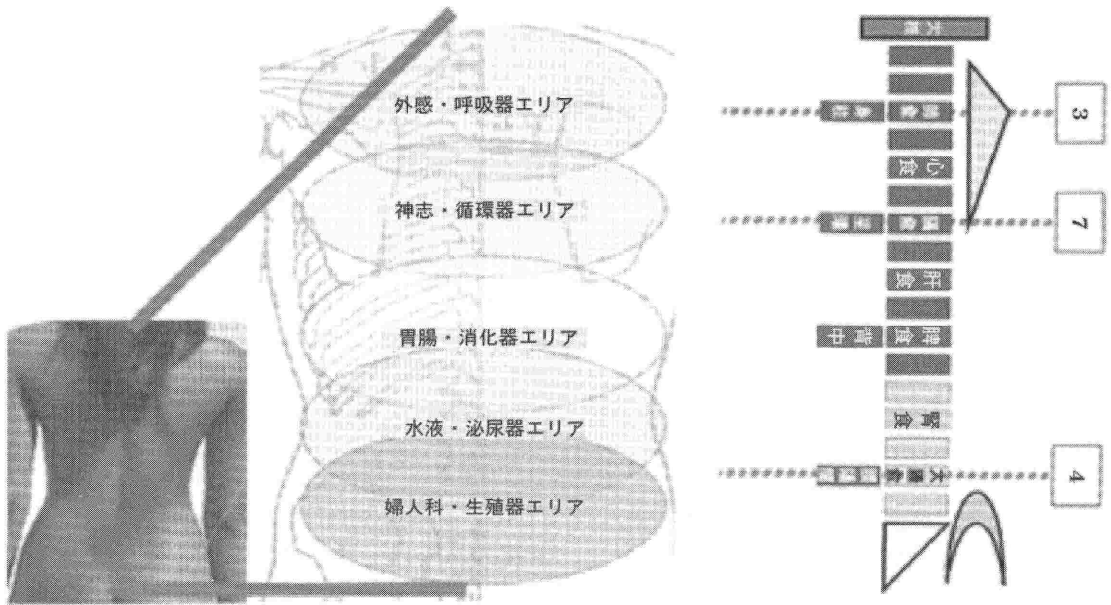


図5 経穴物理刺激のための脊椎と代表的な経穴の解剖的位置関係

能の感受性改善効果などが報告されており、ドライバースーツ内蔵経穴温灸刺激装置は、自律神経機能のコントロールに有効である可能性が高い。

また、現在、腹部不定愁訴を訴える対象のために、天枢に対する安全ベルト内蔵型の温灸刺激装置を開発しており、健康ボランティアに対し、その上腸間膜動脈血流に対する賦活作用などを究明している。

本稿における実験は、解析・定量化の方法論における探索的な側面も存在するため、オフライン解析で行われているが、将来的にはオンライン解析によりリアルタイムフィードバックが行われる予定である。

認知機能解析による安全運転シミュレーションと自律神経

安全運転行動をシミュレートする認知機能検査およびアロマ刺激中における記録された時系列の一例を図6に提示する。アロマと認知機能検査の負荷により、循環動態に若干の影響が観測される。そこで、この観測結果における循環動態を、無香料刺激時の時系列データと比較することで、定量的な評価を試みている。

例えば、レモン香料アロマ刺激を行った場合に

は、無香料の場合と比較して、同じ運転行動をシミュレートした認知機能負荷検査時の心拍数の変化を比較すると、図7に提示するようにアロマの種類に応じて、変動の傾向が認められる。また、他の血行動態や心拍変動のゆらぎ成分においても、アロマの影響が観測された。

興味深いことに、運転行動をシミュレートした認知機能テストの結果と、血行動態の反応性には若干の関連性が認められる結果が得られている。すなわち、アロマ刺激で血行動態に反応性が観測されれば、その反応性に準じて認知機能テストの結果が変動している現象が観測された。例えば、図8に提示するように、空間配置の記憶を検出するN-back認知機能テストにおいて、アロマで心拍数が増加すれば、反応時間が短くなり、心拍が遅くなれば反応時間は遅く、運転行動としては鈍重になる。このテストはワーキングメモリの機能に関与するといわれ、運転行動に重要な役割をなしている。血行動態と運転行動、およびそのアロマによるインターベンションの可能性を考察するうえで興味深く、アロマに反応する生体は、アロマに反応して運転行動も変化する傾向を提示していることになる。したがって、運転行動を、自律神経リハビリテーションを介して制御できる方

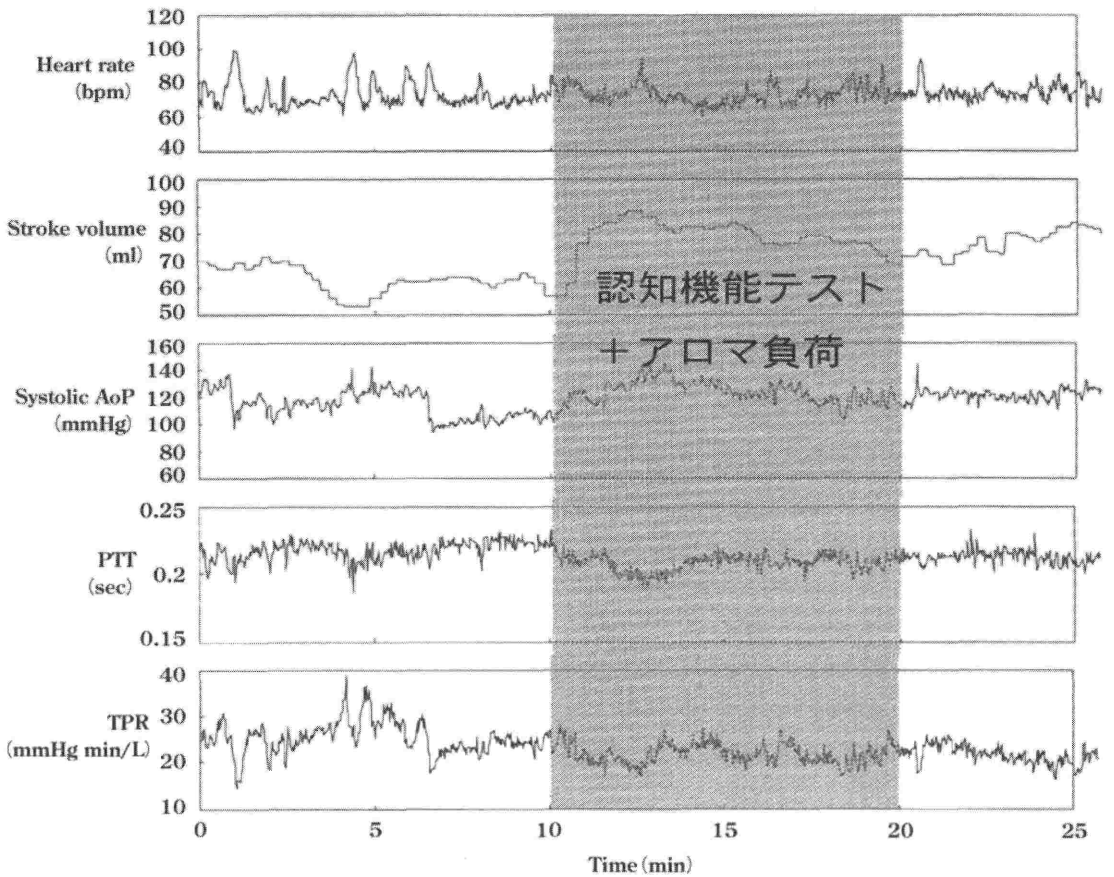


図6 運転行動をシミュレートする認知機能検査とアロマ刺激が血行動態時系列曲線に与える影響の一例

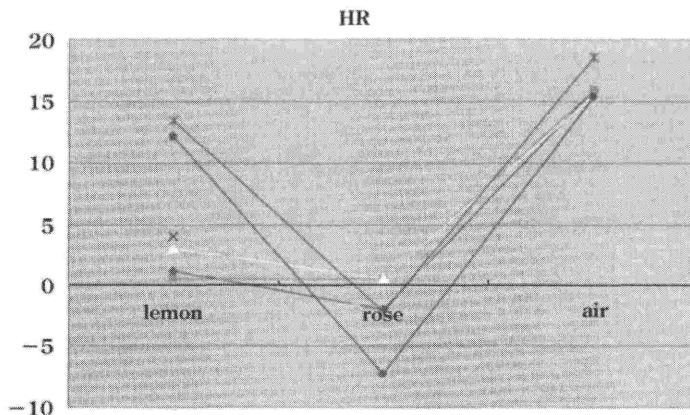


図7 運転行動をシミュレートする認知機能検査時に芳香負荷を与えた際の心拍数に認められる変化

法論の萌芽的な可能性を示唆する可能性がある。すなわち、交感神経優位になれば運転行動の反応性は素早くなるものと推察されるので、この現象を応用すれば、運転が上手になるアロマの具現化の可能性も期待できることになる。

これは、アラウザルに顕現される生体反応性を考察する上でも興味深いデータと思われる。アラウザルは覚醒水準とも訳され、心身の活性を指す概念であり、活力アラウザル、緊張アラウザルの二次元で提示されるのが標準的になっている。活

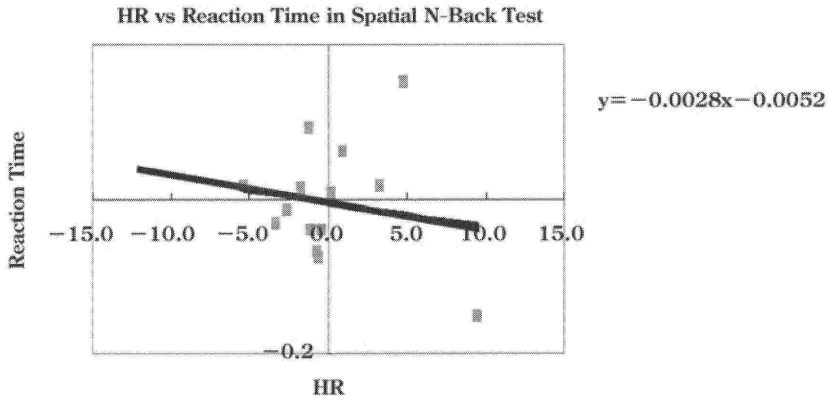


図8 運転行動をシミュレートする認知機能検査中のアロマ負荷による心拍数の変化と、反応時間の変化

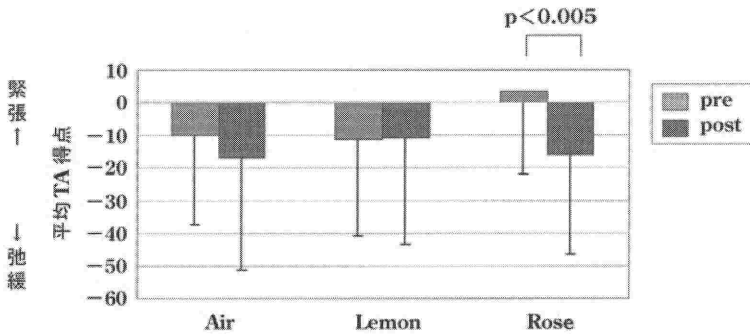


図9 アロマの種類による認知機能テスト前後の緊張アラウザルの変動

力アラウザルは全般的活性と、脱活性(睡眠・眠気)との2つの要素で構成される活性化次元であり、緊張アラウザルは高活性と全般的脱活性(弛緩)で、緊張からリラックスまでの感情やストレスと関与する次元と言われる。運転行動をシミュレートする認知機能検査中のアロマ刺激により、図9に提示するように認知機能テスト中のアロマの種類によりアラウザルの反応性が変化している。この現象と、運転行動の認知行動結果と合わせて考察すれば、最適の運転行動を促す自律神経反応を惹起させるアロマ刺激の実現性を示唆させる面で将来性が期待される。

アロマ刺激も、このように、自律神経機能コントロールシステムとしての可能性を期待させているが、本研究で発明されたシステムでは、更に、ドライバーシート内蔵型のマッサージシステムの自律神経コントロール装置としての実現性を期待している。

シート内蔵型の全身マッサージ施行前後で比較を行うと、脈波、加速度脈波の波形に著明な変化

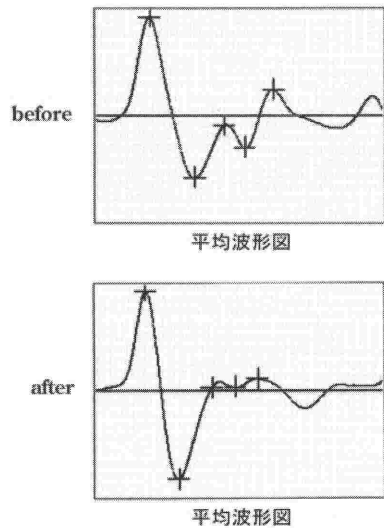


図10 シート内蔵自動マッサージ前後の指尖脈波二次微分波形

が観測される症例も散見された。マッサージ前後における指尖容積脈波から計算された二次微分曲線の一例を図10に提示する。マッサージの前後

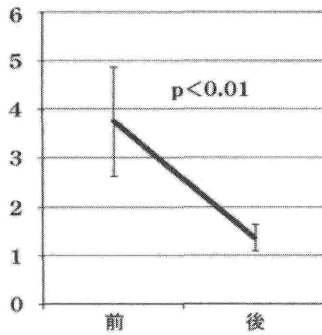


図11 シート内蔵マッサージ前後の心拍変動 LF/HF

における加速度脈波の波形成分, a 波, b 波, c 波, および d 波等の波高に有意の変動が観測される。

このように加速度脈波から, ドライバーシート内蔵の指圧による循環動態の変動などが観測されるが, 指尖脈波による加速度脈波計測は, その簡便な計測性とクイックな反応性から, 生体に対するフィードバック刺激を与える際のモジュールとして有効性が確認される結果が得られたものと思われた。

自律神経機能解析を施行するために脈波変動から計算される心拍変動 LF/HF を計算し, 図11 に示す。このようにシート内蔵マッサージにより, 自律神経機能のコントロールが具現化される可能性が示唆されたものと判断された。

最近では, 腰背部の経穴の温熱刺激により, 副交感神経系が活性化し, 血压反射機能が改善する方法論などの提案も行われており, 経穴温熱刺激にも幅広い可能性の将来が開かれている。また, 東洋医学における消化管支配経穴の一つである天枢に対する温灸治療をドライバーシート内蔵型や安全ベルト内蔵型に展開した際の, 上腸間膜血流量に対する作用を観測すると増加する現象も観測されており, その効果は治療を停止した後も持続されるので, 自律神経系などを介した間接的な循環制御機能のコントロール効果によるものと推測できるかもしれない。

血管の血压反射機能に関するコントロールシステム

人体に対する治療的インターベンションには様々な方法論が存在し, 薬剤投与や侵襲的な手術は, 病院で行われる医学的インターベンションの

代表である。しかしながら政治の貧困などにより, 特に地方社会では, 病院における医療の崩壊が確実視される本邦では, 病院における医療行為を期待することができない社会が近未来に到来することになる。地域医療を担う公的病院がすべて倒産しているのに, 高度医療が国民にサプライされることは期待できない。そこで, 病院に依存しない間接的インターベンションによる健康管理がどうしても必要になってくる。

日本におけるメタボリックシンドローム基準値が, あまりに世界標準からかけ離れ問題が大きすぎるという批判は, 既に出尽くした感もあるが, 基準値は間違っていない, 概念自体が誤っているわけではない⁴⁻⁶⁾。特に高血圧症の存在は将来的に臓器不全をもたらす重要な病態であることは間違いない。本態性高血圧の病態の形成に最も重要な役割を示している存在に, 血压反射システムの感受性低下の問題がある。

人体では血压が上昇すると, 血压反射のフィードバック制御により反射的に心拍数が減少し, 抵抗血管系は弛緩し, 心拍出量の低下と, 血管抵抗の減少で血压は減少し, 恒常性が維持される。この血压反射の機能が障害されれば, 血压が上昇しても, 低下させる反射制御機構が作動しないので, 血压は上がりっぱなしになる。この血压反射の機能を定量的に診断するために, 血压上昇時の心拍反応などを用いて解析を行う方法論が臨床で報告されているが, この方法だけでは, 心臓の反応性は診断できるが, 血管の反応性を診断することは原理的に難しい。自律神経系には地域性反応の性質があり, 心臓の反応が必ずしも血管の反応と並行するとは限らない。そこで東北大学では, 血管の血压反射機能を解析する方法論を発明し特許の申請に至っている²⁶⁾。すなわち心臓の反応性と独立している可能性がある血管系の血压反射機能を定量的に解析するために, 脈波伝播速度の原理に着目し, 心電図の R 波から, 末梢脈波の立ち上がりまでの伝播時間を計測し, 血管弾性を定量診断することで, 血压反射における血管の反応性を診断する方法論を開発した。

この新しい計測システムを用いて心臓の血压反射機能と, 動脈血管系の血压反射機能の解析した結果の一例を図示する(図12)。このように, 運転

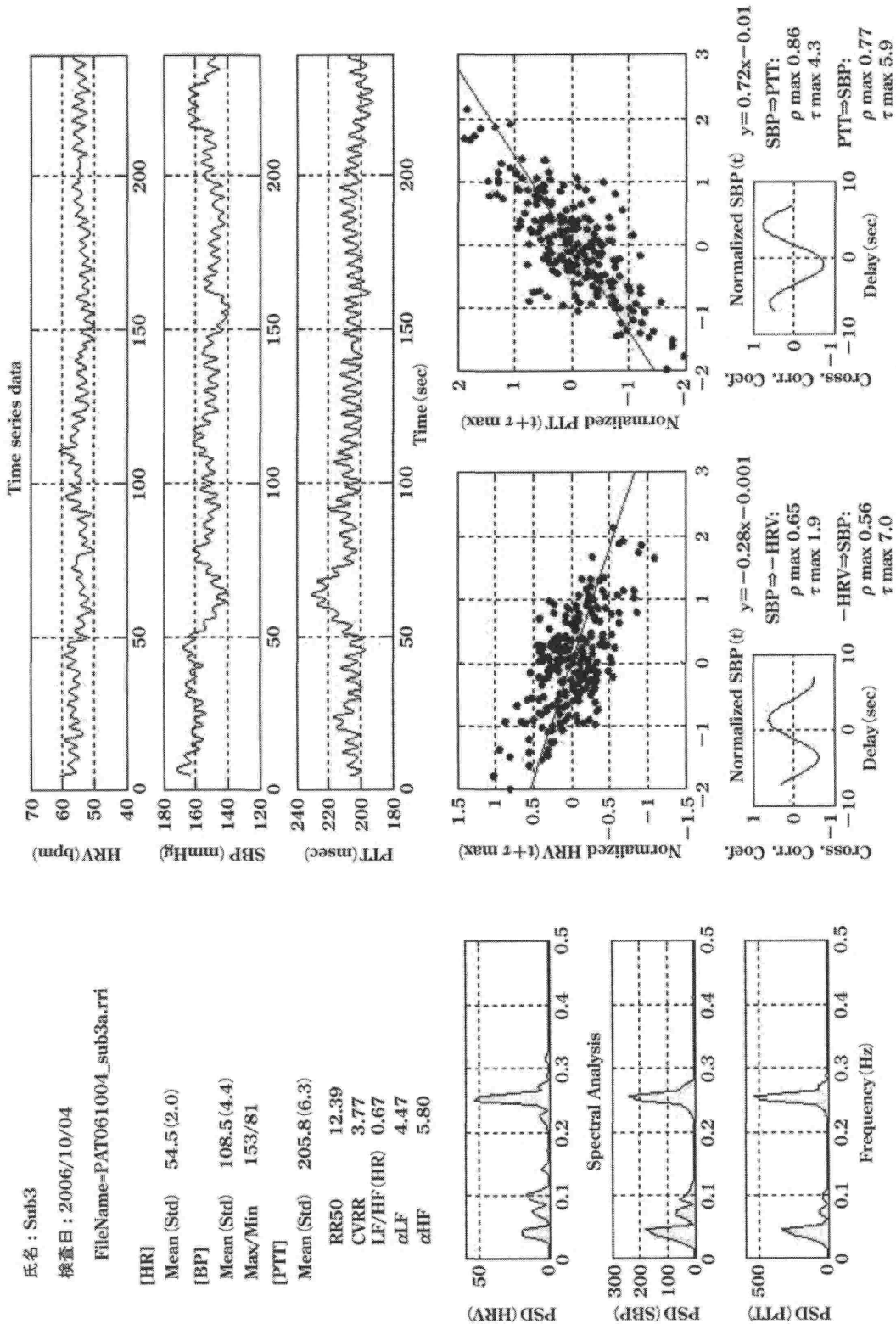


図12 運動中の自律神経機能、心臓の血圧反射機能、および血管の血圧反射機能解析

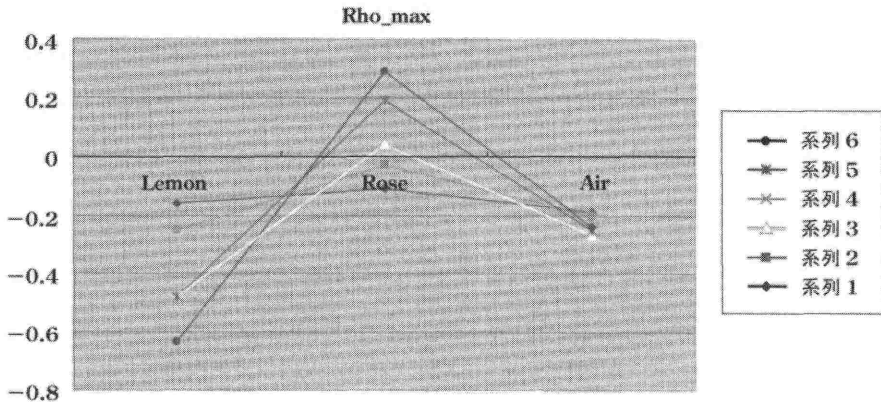


図13 運転行動をシミュレートする認知機能検査中のアロマ負荷と、血圧反射機能の線形性指数 ρ_{max}

中のモニタリングデバイスから、心拍、血圧、脈波伝播速度を計測し、そのゆらぎを定量診断することで、交感神経・副交感神経のバランスを推定し、同時に、心臓の血圧反射機能、動脈血管系の血圧反射機能を、同時に独立して定量診断することが可能になっている。これだけの多次元情報を得ることができれば、運転者の運転アドバイス、自律神経機能のコントロールを行うインターベンションを加えることは可能であると期待できる。更に、認知機能検査中のアロマの種類と、血圧反射機能の線形性指数 ρ_{max} の変動を図に提示する(図13)。アロマの種類に依存して、線形性が大きく変動している現象が観測され、自律神経機能にアロマが関与する可能性を示唆している^{30~32)}。血圧反射機能の線形性はさらに上位の高次機能中枢からの関与が強まると変動する。すなわち、交感神経が活性化するような fight or flight の外的環境では、血圧反射より上位からの循環系への関与が大きくなり、動脈圧反射システムだけの線形性は阻害されることが知られる^{30~32)}。このように、アロマだけで、高次機能中枢と自律神経機能の関与に制御を加えることが可能であり、ここから、自律神経系を介した循環制御機能への治療的インターベンションから、自律神経機能のコントロールが具現化する可能性の萌芽を示すものと考えられる。

本研究のデータの蓄積から、運転中の循環動態を、脈波、呼吸、心電図、脈波伝播速度などを解析して、心臓血管機能・自律神経機能を判定し、適切なアロマ刺激、経穴刺激、温灸刺激、マッサ

ージなどを負荷して、自律神経機能コントロールを行うシステムには可能性があるものと期待される。

考 察

脚を使わずに人体を移動させる手段は、古来、人類の夢であり、奴隷を使い、動物を使い、川の流れや海流、風の力など自然界の力を応用して、移動の効率を上げる手段は種々考案されてきた歴史がある。しかしながら、誰でもいつでもどこでも自由に移動が可能になる方法論としては、産業革命以降の発動機の発明を待たねばならないことになる。人体や荷物を移動させる手段としての「自動車」が発明されて以来、様々な方法論が開発、試作されてきており、早くも18世紀には、蒸気自動車が発明されていたとの報告もある。20世紀のアメリカでは、現在のガソリン方式が実用化され、自動車移動社会としての、一大文化圏、一大産業圏を形成し、世界中に普及させてきた³³⁾。

本来、身体を使い、脚を使って歩いていた人体を、ある意味では忘れさせ、自動機械で移動させているため、健康科学の上では、乗用車はもともと議論の提唱になり得る存在でもあった。メタボリックシンドロームに代表されるような生活習慣病が話題になる昨今では、運動不足を促進する要因として元凶視される論も枚挙に暇がない。ある意味では疾病を発生させ得る病因とも言えるかもしれない。

かかる疾病の発生病因とも言える乗用車を、自律神経機能の治療機器として応用するという方

法論はある意味では逆転の発想といえるかもしれない。

政治の貧困により、公的移動手段のインフラ整備が遅れ、かつ現在存在するバスなどの移動手段すらどんどん廃止されつつある日本では、地方社会では現実的に、乗用車がないと生活そのものが成り立たない地域も、非常に多く、かつ、ほぼ必ず破綻している地方財政の状況下では、車以外に移動手段のない地域は、今後とも確実に広がり続けることは疑いない。

いくら運動不足によるメタボリックシンドロームが問題になり、いくら環境が重視される社会でも、自動車を制限することは、政治貧困大国の我が国では国民の生存権そのものを脅かす可能性すらあることになる。そこで求められるのが、高齢者でも安全に運転ができ、健康な人体を維持し、できれば健康を増進させる道具としての乗用車である。そこで本研究では、運転者の健康状態をモニターし、アロマ、経穴刺激、温熱による温灸療法、空調による温度調整を介して、運転者の自律神経機能を適正な範囲に維持し、例え高齢者であっても、体調を十二分に整えることで、残された運転能力を完璧に発揮させることで、高齢化社会の運転の安全性に寄与するシステムの提案を行っている。更に、ある種の運動能力リハビリテーション訓練機構を備えることもできるシステムも開発中である。

ある意味では自動車科学が世界で最も進んでいる本邦では、運転中の体調モニターには長い研究の歴史があり、メーカーでも運転者の体調モニターのためにハンドル装着型の心電図や脈波計の開発が進められている。流石にハンドルを切ったときには基線が動揺して判断が難しいが、安定した運転中には比較的良好な心電図が得られている。心拍のRR ゆらぎの判定も可能になるので、交感神経・副交感神経のバランスが判定できることになる。

そこで東北大学スマートエイジングプロジェクトでは、自律神経機能の時系列データに基づいて運転者の自律神経機能をコントロールするための方法論開発を進めている。乗用車では空調に芳香剤を負荷することは比較的容易であり、かかる観点からアロマセラピーの可能性の探究を行った。

レモンやローズのような芳香剤は、交感・副交感のバランスを整えることができる可能性が過去の知見で得られているが、本プロジェクトにおける血行動態変動、ゆらぎの変動、アラウザル等の指標、唾液中のデータにも、アロマセラピーにより自律神経をコントロールできる可能性が示唆されている。

本稿で概説したように、本研究ならびに過去の知見から、運転中に、運転者の血行動態から心臓血管機能、自律神経機能診断を行い、カーナビゲーションシステムから適切なアドバイス、生活指導のアドバイスなどを与えることで、体調を整え、運転能力を向上させるシステムの具現化が期待できる。また運転者の体調に応じた自律的な動作により、ドライバーシートおよび安全ベルトなどに装着した経穴物理刺激装置により、指圧刺激、温灸刺激、冷灸刺激などを行い、交感神経・副交感神経バランスを整える治療機能、また血圧反射機能のリハビリテーション機能を持つ健康維持システムの実現性について提案できた可能性があるものと思われた。更に、乗用車の運転の実行機能を判定するための認知機能検査の結果から、アロマにより、運転の実行機能に差が出る可能性が示唆されている。この結果から、運転中に自律神経機能コントロールを行うことで、運転能力そのものが向上できる可能性も示唆されたものと思われる。

「抗加齢」と言う単語が話題になる昨今ではあるが、そもそも加齢現象は自然変化であり、不自然な手段、人工的なインターベンションで、老化に対抗しても、必ずしも、長期的には、生命、あるいはQOLの予後を改善するか否かについては、今後の様々なメガスタディの結果を待つ必要がある。そこで東北大学では、高齢者の叡智の尊重を重視し、かつ、高齢者の残存能力を十全に発揮していただき、社会経済活動により大きく貢献して頂こうというスマートエイジングプロジェクトを進めている。

中医学では、下医は病気を治し、中医は病人を治し、上医は社会を治すと言われる。

破壊的とも言える政治の貧困が益々加速していく現在、高齢者社会、そして乗用車しか移動手段がない高齢医療過疎地方社会は、もはや確定した、日本に必ず到来する未来社会である。

したがって、循環制御学会も、このような社会の到来に対応し、病院や診療所で来院患者の治療を行うだけでなく、街に、地方に、車社会に、一歩、足を踏み出し、高齢者の健康を守る社会状況に立脚した循環制御機能の治療の未来へと、展開していく必要があるのではないだろうか。

本稿の成果の一部は、東北大学モビリティ & スマートエイジングプログラム、グローバル COE プログラム「新世紀世界の成長焦点に築くナノ工医学拠点」、先進予防型健康社会仙台クラスター広域仙台地域、および、これらのプログラムにおける多くのプロジェクト連携企業のご協力によるものです。記して謝意を表します。

文 献

- 1) Visser M, van Rooden SM, Verbaan D, et al: A comprehensive model of health-related quality of life in Parkinson's disease. *J Neurol* 2008; 255: 1580-7.
- 2) Camillo CA, Pitta F, Possani HV, et al: Heart rate variability and disease characteristics in patients with COPD. *Lung* 2008; 186: 393-401.
- 3) Rahman S, Griffin HJ, Quinn NP, et al: Quality of life in Parkinson's disease: the relative importance of the symptoms. *Mov Disord* 2008; 23: 1428-34.
- 4) Minami J, Ishimitsu T, Ohru M, et al: Association of smoking with aortic wave reflection and central systolic pressure and metabolic syndrome in normotensive Japanese men. *Am J Hypertens* 2009; 22: 617-23.
- 5) Takeda Y. Effects of eplerenone, a selective mineralocorticoid receptor antagonist, on clinical and experimental salt-sensitive hypertension. *Hypertens Res* 2009; 32: 321-4.
- 6) Noda H, Iso H, Saito I, et al: The impact of the metabolic syndrome and its components on the incidence of ischemic heart disease and stroke: the Japan public health center-based study. *Hypertens Res* 2009; 32: 289-98.
- 7) Sims RV, McGwin G Jr, Pulley LV, et al: Mobility impairments in crash-involved older drivers. *J Aging Health* 2001; 13: 430-8.
- 8) Sims RV, McGwin G Jr, Allman RM, et al: Exploratory study of incident vehicle crashes among older drivers. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55: M22-7.
- 9) Hakamies-Blomqvist L: Aging and fatal accidents in male and female drivers. *J Gerontol* 1994; 49: S286-90.
- 10) Wood JM: Age and visual impairment decrease driving performance as measured on a closed-road circuit. *Hum Factors* 2002; 44: 482-94.
- 11) Sekuler AB, Bennett PJ, Mamelak M: Effects of aging on the useful field of view. *Exp Aging Res* 2000; 26: 103-20.
- 12) 帯刀益夫, 佐竹正延 編集『加齢医学—エイジング・ファイナ』東北大学出版会 2007.
- 13) Juszczak NM, Andreassi JL: Performance and physiological responses of type A and type B individuals during a cognitive and perceptual-motor task. *Int J Psychophysiol* 1987; 5: 81-9.
- 14) Boufous S, Finch C, Hayen A, et al: The impact of environmental, vehicle and driver characteristics on injury severity in older drivers hospitalized as a result of a traffic crash. *J Safety Res* 2008; 39: 65-72.
- 15) 特願 2008-326215, 「車両用自律神経診断装置, 車両用自律神経診断方法」.
- 16) 特願 2000-109601, 「運転者状態監視装置」
- 17) 特願2004-34218, 「オペレーター用健康データ管理システム」
- 18) Smith SM, Potter JF, Samani NJ, et al: Are baroreflex events detected by invasive and non-invasive techniques coincident? *Clin Physiol Funct Imaging* 2008; 28: 262-9.
- 19) Tanaka A, Sugita N, Yoshizawa M, et al: Interpolation of the subjective score of visually-induced motion sickness by using physiological parameters. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2008; 1: 4595-6.
- 20) Selvaraj N, Jaryal A, Santhosh J, et al: Assessment of heart rate variability derived from finger-tip photoplethysmography as compared to electrocardiography. *J Med Eng Technol* 2008; 32: 479-84.
- 21) Lieb W, Larson MG, Benjamin EJ, et al: Multimarker approach to evaluate correlates of vascular stiffness: the Framingham Heart Study. *Circulation* 2009; 119: 37-43.
- 22) Yambe T, Yoshizawa M, Saijo Y, et al: Brachio-ankle pulse wave velocity and cardio-ankle vascular index (CAVI). *Biomed Pharmacother* 2004; 58: S95-8.
- 23) Monnier M: Changes in pulse wave velocity with age. Longitudinal gerontological research over 10 years. (Basal studies, 1955-1965). *Gerontol Clin (Basel)* 1967; 9: 81-6.
- 24) Bortolotto LA, Blacher J, Kondo T, et al: Assessment of vascular aging and atherosclerosis in hypertensive subjects: second derivative of photoplethysmogram versus pulse wave velocity. *Am J Hypertens* 2000; 13: 165-71.
- 25) 山家智之, 高嶋 充, 田中 明ら: 自律神経機能非線形解析システムの開発. *日本臨床生理学雑誌* 2000 (0286-7052); 30: 259-62.
- 26) 特願 2006-271105 「血圧反射機能測定装置」
- 27) 特願2004-133974 「運転者状態検出装置及びプログラム」
- 28) 特願平 9-69893 「危険予知運転制御装置」
- 29) Thayer RE, Newman JR, McClain TM: Self-regulation

- of mood: strategies for changing a bad mood, raising energy, and reducing tension. *J Pers Soc Psychol* 1994; 67: 910-25.
- 30) Sugita N, Yoshizawa M, Abe M, et al: Evaluation of adaptation to visually induced motion sickness by using physiological index associated with baroreflex function. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*; 2007: 303-6.
- 31) Yoshizawa M, Sugita N, Tanaka A, et al: Assessment of emotional reaction induced by visual stimulation based on cross-correlation between pulse wave transmission time and heart rate in the Mayer wave-band. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004; 4: 2411-4.
- 32) Shioiri T, Kojima M, Hosoki T, et al: Momentary changes in the cardiovascular autonomic system during mental loading in patients with panic disorder: a new physiological index "rho(max)". *J Affect Disord* 2004; 82: 395-401.
- 33) Erik Eckermann: 自動車の世界史. グランプリ出版 (1996/11)

Motor Car, Which can Control Circulation

Tomoyuki Yambe*, Satoshi Konno*, Yasuyuki Shiraishi*, Hongjian Liu*, Ryuta Kawashima*,
Tsuneyuki Abe**, Norihiro Sugita***, Makoto Yoshizawa***, Takashi Seki****

*Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University, Sendai, Japan

**Tohoku University Graduate School of Letters, Sendai, Japan

***Cyber Science Center, Tohoku University, Sendai, Japan

****Department of Oriental Medicine, Tohoku University Hospital, Sendai, Japan

In the history, function of the Human body has been expanded with vehicles like motorcar, ship and plane. If human body will be connected to the vehicle, the vehicle will become a part of a human body, so, several investigators have been studying about the man-machine interface. In this study, we added the diagnosis and circulatory control system treatment function to the motor car. ECG recording system and pulse wave recording system was added to the handle and drive console in the experimental system. Air pressure sensors to detect the respiration and aortic pulse wave were inserted into the drive seat. By the evaluation of the ECG and pulse wave, we can evaluate the circulation dynamics, and furthermore, we can evaluate the pulse wave velocity and fluctuations in hemodynamic parameters. By the

use of the information, several kinds of Aroma, Massage to the Acupuncture points or the Moxibustion were added to the driver. So, the car can control the autonomic nerve condition and rehabilitation of the baroreflex system was embodied. After ethical committee allowance, we evaluated the diagnosis tool during driving and studied the effect of aroma and massage to the acu points therapy on driver during drive simulation. Hemodynamics, HRV and baroreflex system was tended to be altered depending of the kinds of Aroma like Rose or Lemon, and acupuncture points stimulation. Furthermore, the Arousal and driving behavior were tended to be altered. These results suggest that motorcar can become new therapeutic tool for the circulation control system.

Key words : motor car, autonomic nerve rehabilitation, acupuncture points stimulation, Moxibustion, Aroma

(*Circ Cont* 2010; 30: 127-141.)