

閉口頭部挙上法を活用したヘッドキャップ型鼾解消器具に関する研究

A study on a headcap-shaped treatment apparatus for snoring based on jaw-closure & head-elevation method

電気電子情報通信工学専攻 尾戸 隆之

Takayuki OTO

1. はじめに

睡眠中に呼吸が断続的に停止する病である睡眠時無呼吸症候群(SAS)が健康や生活の質を害する睡眠障害の一つとして問題視されている。国内患者数は200万人以上とされており、治療や対策が求められている。また鼾はSASの主な症状のひとつであるほか、鼾をかく人はSASまでに至っていなかったとしてもその予備軍とされている。さらに、鼾をかく場合のほとんどが口呼吸となっている。口呼吸は口内の乾燥から風邪、扁桃炎、口内炎、歯周病、免疫力の低下などを引き起こすとされており、鼾の解消は健康維持にも重要視されている。鼾の解消やSASの治療に向けて睡眠中の気道開通を行う治療器具も多数実用化されている。しかし、従来の治療器具の多くは口や鼻への装着物を必要とし、その違和感や不快感によって睡眠の質の低下を招くことが問題となっている。そこで我々は従来の治療法の問題点を解決すべく長崎大学大学院医学歯薬学研究所と共同で新たな治療器具の開発に取り組んだ。

2. 研究目的

本研究の目的は睡眠時の鼾症状を自動的に改善する治療器具の実現である。従来の治療器具で問題点となっていた使用時の不快感や睡眠の質の低下の少ない新たな器具の実現を目指す。本修士研究では学士研究までに実現できなかった次の目標を掲げ研究に取り組んだ。①睡眠中の鼾解消の実現と効果の確認。②治療器具に搭載しているエアバッグのサイズと形を改良し、昨年度の問題であった頭部高さ・角度の制御範囲の狭さを解消する。③睡眠時の頭部高さ・角度の制御による、利用者個人ごとの呼吸量の変化から最適な頭部姿勢を特定する。

3. 試作した気道確保システム

本研究で試作した鼾解消装置の構成図を図1に示す。

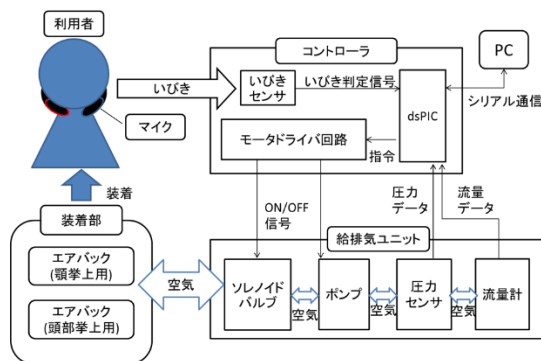


図1. 気道確保システム構成図

本試作機は頭部姿勢の変換により気道開通を実現しており、①ヘッドキャップ、②コントローラ、③給排気ユニット、④鼾センサの4つの構成要素から成る。まず気道開通法について説明した後に、各構成要素の役割や特徴について述べる。

3.1 閉口頭部挙上法

気道の閉塞は図2の左図のように睡眠時に舌を支える筋肉が緩み気道側へ落ち込む舌根沈下が主な原因とされており、姿勢や顎の状態も関係しているといわれている。そこで筆者らの研究グループは入眠中の頭部位置姿勢を制御可能な実験器具を製作し、呼吸と頭部姿勢の関係を調査する実験を行った。その結果、顎関節を閉じて顔面を水平にしたまま後頭部を床面から約6[cm]挙上した姿勢(スニッフィングポジション)が、最も多くの人に対し気道開通効果が高いことが確認された。そして実験的に明らかになった最適姿勢を用いる気道開通法は閉口頭部挙上法と名づけられた。本研究はセンサで鼾が検知されると、この閉口頭部挙上法による気道開通動作を自動的に行う装置を開発するものである。

3.2 ヘッドキャップ

装具のヘッドキャップはスポーツ用ヘッドギアをベースとして利用し、これにビニル製のエアバッグ2種を固定している。(図3)ピローは後頭部に配置され、膨張により頭部を挙上することができる。カラーは頭部の左右両側にひとつずつ配置されており、膨張により顎先部分を押し上げる働きがある。昨年度からの変更点として、ピローはよりサイズの大きいものを使用し頭部高さの可動範囲を増やした。カラーは細く小さく作り直し、折り畳んだ状態で設置するようにし、空気を送り込んだ際にまっすぐに膨らむ力を利用して顎を持ち上げる方法に変更した。これにより頭部角度の可動範囲を増やし

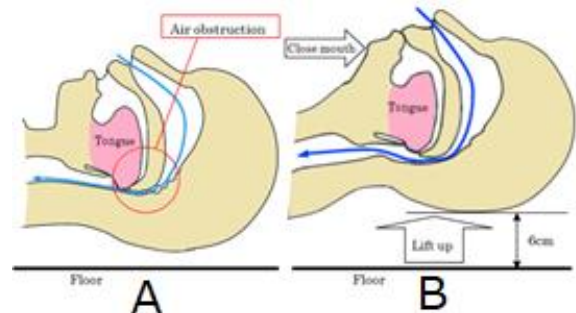


図2. 舌根沈下時(A)とスニッフィングポジション(B)

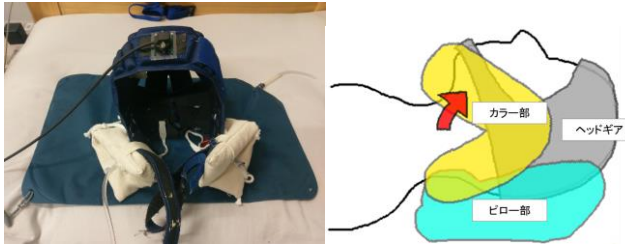


図3. ヘッドキャップ

た。これら2種類のエアバッグを協調して制御することで、閉口頭部挙上法による気道開通が実現される。

3.3 コントローラと給排気ユニット

コントローラの外観を図4、給排気ユニットの外観を図5に示す。コントローラはICマイコンを主として構成される制御回路とトランジスタ等を用いたドライバ回路から構成されている。マイコンで呼吸センサ、圧力センサ、流量センサの値を取り込み、その値を基にドライバ回路を通して給排気ユニット内部のエアポンプとソレノイドバルブのON/OFF制御を行う。

3.4 鼾センサ

鼾センサは、図6の2つの回路基板と咽喉マイクで構成されている。それぞれマイクの信号を増幅させる増幅回路、増幅された信号を処理して鼾の判定を行うdsPIC基板である。咽喉マイクは環境音の影響を受けることがなく、喉の振動のみを検出することが可能となっている。

3.5 器具の鼾解消動作機能

利用者は図7のように頭部にヘッドギアを装着し、横にコントローラと給排気ユニットを設置する。鼾センサが鼾を検知すると、コントローラが鼾信号を処理し給排気ユニットに指令を送り、ヘッドギア内のエアバッグへ空気を給気し頭部の姿勢の変換を開始する。気道が閉塞しやすい頭部前屈姿勢を避ける為、顎部挙上、頭部挙上の順番で実現される。流量計のデータからエアバッグ内の空気の量を算出し、事前に調べた目標頭部姿勢に要する空気量に至るよう各エアバッグの給排気を制御する。目標空気量に到達後、設定された時間だけ気道開通姿勢を持続させ、その後排気する。この動作を夜間の睡眠中に繰り返すことで自動的に鼾症状を回避する。

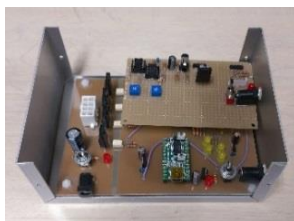


図4. コントローラ

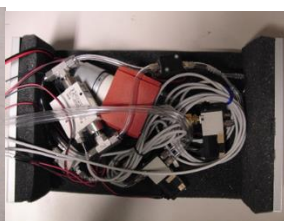


図5. 給排気ユニット



図6. 鼾センサ



図7. 装置使用時の外観

4. 気道開通姿勢測定システム

4.1 気道開通姿勢測定法

気道開通姿勢は個人で異なり、実際に装置を使用するときは利用者個人の気道開通を確認する必要がある。そこで本研究グループは利用者に適した気道開通姿勢を測定するシステムの確立した。

4.2 頭部高さ・角度計測法

睡眠時の頭部高さは頭部中心点を基準として計測する。頭部高さ・角度計測にはPOLHEMUS社製の磁気式三次元位置計測装置 (FASTRACK) を用いる。FASTRACKのレシーバを被験者の額部 (A点) と顎部 (B点) に1つずつ設置する。(図8) この2点を結ぶABベクトルを回転させることでA点と頭部中心点 (C点) を結ぶACベクトルと一致させACベクトルを求める。このACベクトルから基準点O点とC点を結ぶOCベクトルを求めC点座標を導き出し、頭部高さを計測する。頭部角度はA点レシーバのロール角を用いて計測する。

4.3 気道開通姿勢測定時の動作

利用者の気道開通姿勢を計測するために、夜間の睡眠中に頭部高さ・角度を徐々に変化させながら就寝し呼吸流量を計測する。上記の頭部高さ・角度計測法を用いて、頭部姿勢を制御する。頭部高さを1[cm]ずつ最大6[cm]挙上させ、その高さごとに頭部角度を変化させる。30秒その姿勢を維持し、その後次の姿勢へと変化させる。この頭部姿勢の変化を就寝中に複数回繰り返す。計測している呼吸流量を解析することで最も深い呼吸を行なっている頭部姿勢を特定する。

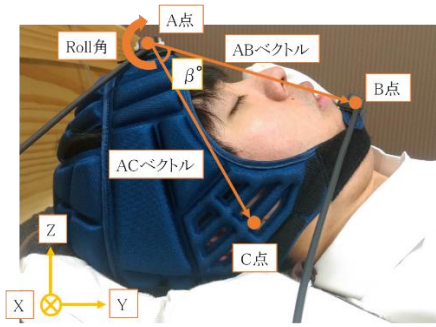


図 8. ベクトル概要図

このシステムを被験者に装着し、頭部高さ・角度の可動域を昨年度の装具と比較した。また、本年の装具の可動範囲を拡大するための改良に合わせ、制御プログラムも変更し、昨年度の旧型装具と本論文の新型装具を同じ制御プログラムで比較した結果を図9に、新型装具で制御プログラムを新しく変更した結果を図10に示す。図9から本年試作した新装具において、昨年度の旧装具より頭部角度が水平に近づき、頭部高さが3[cm]、4[cm]の状態では頭部角度が水平にできることが観測できた。しかし、頭部高さを5[cm]以上挙げた状態では本年の装具でも頭部角度が水平にならなかった。そこで本年は制御プログラムを変更した。これにより、図10で観測されたように本年の制御動作において頭部高さが5[cm]の時も頭部角度を水平にすることが可能であり、6[cm]の時は頭部角度が昨年度の制御動作より水平に近づくことが確認できた。

5. 評価実験

本研究では2つの評価実験を行った。①今回試作した鼾解消器具の鼾解消効果の評価実験 ②鼾解消器具

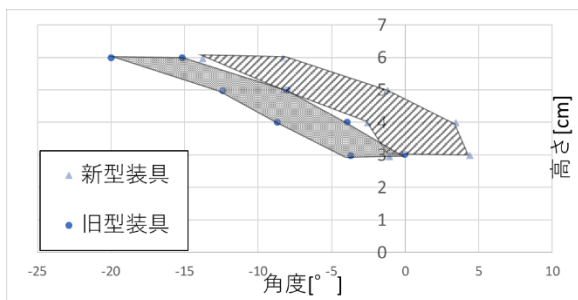


図 9. 装具変更による頭部高さ・角度の制御範囲比較

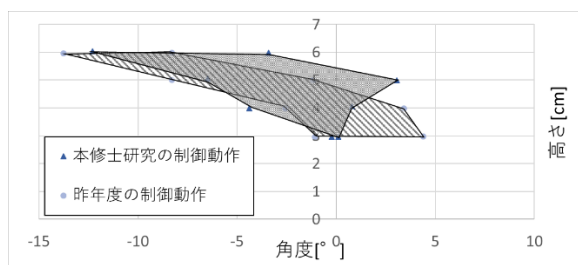


図 10. 頭部高さ・角度の制御範囲比較(制御動作変更)

を使用した気道開通姿勢の個別測定実験である。睡眠の質の評価にはフィリップス・レスピロニクス社製の睡眠評価装置 Alice6LDE を用い、終夜睡眠ポリグラフィ検査 (PSG 検査) を実施した。

5.1 鼾解消効果評価実験

今回の試作機での鼾解消効果を確認するために実験を行った。鼾を生ずる被験者に試作した鼾解消装置と Alice6LDE を装着し、静穏を保った睡眠室にて一夜就寝する。自動的に気道開通姿勢が実現された時に鼾が解消されているかを確認することで今回試作した装置の鼾解消効果を評価する。鼾解消の判定は筆者が開発した鼾センサと Alice6LDE の鼾センサの判定を用いた。図 11 に実験結果の一例を示す。一夜の就寝で装置は 84 回作動した。開発した鼾センサの判定では 84 回の作動の内、52 回は図 11 のように気道開通姿勢時に鼾が解消できており、3 回は覚醒によって鼾解消、29 回は鼾が解消していないことが確認できた。鼾解消を本実験の成功とすると、鼾解消成功率は 64.2%であった。Alice6LDE の鼾センサの判定では 84 回の作動の内、73 回は鼾が解消できており、3 回は覚醒によって鼾解消、8 回は鼾が解消できていないことが確認できた。成功率は 90.1%となり高い確率で鼾を解消できている。このことから、試作した装置の気道開通姿勢で鼾の解消効果を確認できた。

5.2 気道開通姿勢の個別測定

試作した鼾解消器具を使用し、被験者個人ごとの気道開通姿勢の測定実験を行った。静穏を保った睡眠室にて入眠確認後 30 分経過した後に本試作機を起動する。本器具 4.3 節述べた動作で制御される。呼吸流量の測定には Alice6LDE の Flow センサを使用し、被験者が試作機の動作で目が覚めていないことを Alice6LDE による PSG 検査で確認した。実験は鼾を生じる 3 名の被験者で行った。

図 12 から図 14 に被験者 3 名の頭部高さ・角度ごとの呼吸流量のデータを示す。円の位置が頭部高さ・角度を、大きさがその位置での呼吸流量を表している。頭部角度は大きくなるほど前屈姿勢、小さくなるほど後屈姿勢であり、0° で水平状態である。図 12 より被験者 A は頭部高さ 6[cm]において他の高さと比較してより

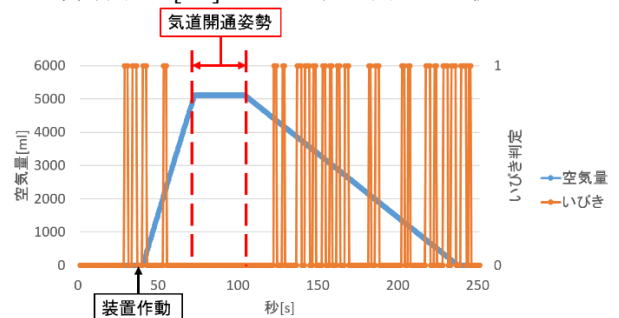


図 11. 鼾解消実験の結果の一例

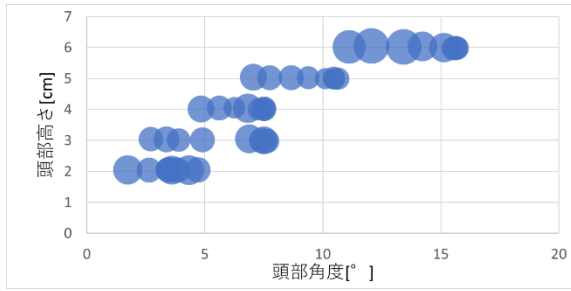


図 12. 被験者 A の呼吸流量データ

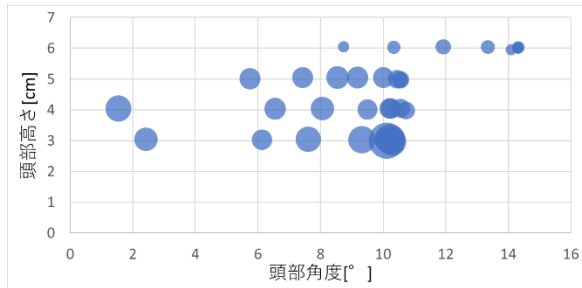


図 13. 被験者 B の呼吸流量データ

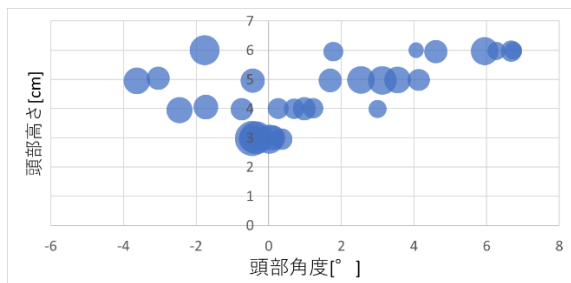


図 14. 被験者 C の呼吸流量データ

大きな呼吸流量が観測された。また頭部角度は前屈が小さくより角度が 0°]に近いほど、つまり水平に近い方がより高い呼吸流量となる傾向が見られた。しかし、被験者 A の頭部姿勢はどの高さにおいても前屈しており特に $6[\text{cm}]$ の高さにおいては 15.7°] から 11.1°] まで結果が得られた。図 13 において被験者 B は頭部高さが $3[\text{cm}]$, $4[\text{cm}]$ の時は頭部角度が 2.4°], 1.5°] までしか頭部姿勢を変化させられなかった。原因として、被験者 A で測定を行う前、本人の意識がある状態で制御動作の確認をしていた際、頭部に対しヘッドキャップがずれる現象が観測された。ただし、これらの測定時における問題は挙げられるものの、図 13 からは頭部高さ $6[\text{cm}]$ 、角度が水平により近い姿勢が最も呼吸流量が多いことが示されたため、スニッフィング姿勢を肯定する水平に近づいた結果が得られた。しかし、頭部高さ $5[\text{cm}]$ で頭部角度は 5.7°], $6[\text{cm}]$ の時は 8.7°] までしか水平に近づかなかった。また $6[\text{cm}]$ の時が最も呼吸流量が少なく、頭部高さ $3[\text{cm}]$ 、角度 10°] の時が最も呼吸流量が多かった。このデータから、被験者 B の場合は頭部高さを低くし前屈させた姿勢が気道開通姿勢だと推測される。

図 14 の被験者 C においては、全ての頭部高さで頭部角度を水平に制御でき、本年の試作機が頭部姿勢の可動域が改善でき、実験に反映することができた。さらに頭部が後屈した状態の実現も可能となり、頭部高さ $6[\text{cm}]$ の時は頭部角度が -1.7°] から 6.7°] まで可動域があることが観測された。しかし、被験者 C の呼吸流量が最も多かった頭部姿勢は頭部高さ $3[\text{cm}]$ 、角度 -0.3°] の時であり、頭部高さ $3[\text{cm}]$ 以外の姿勢は呼吸流量のばらつきが大きく前屈・後屈による呼吸流量の変化の傾向が観測できなかった。原因として、被験者 C では鼻の下(人中部位)に取り付けた Flow センサの位置のずれが確認されており、頭部姿勢の変化の度に Flow センサと鼻の距離が変わったことで Flow センサが測定する温度が変わり、正しい呼吸量が計測できていなかった可能性がある。ただし、Flow センサの固定には顔にテープで固定するなどのセンサのずれに対する対策は取っており、図 14 の試験時にはセンサが外れる等の不具合は起きていない。そのため、測定誤差を含んでいる可能性はあるものの、現段階の傾向としては図 14 から被験者 C は頭部高さ $3[\text{cm}]$ で角度が水平に近い姿勢が気道開通姿勢であると推測することはできる。以上 3 名の被験者を対象にした本実験から、頭部姿勢の変化による呼吸流量の変化を確認できた。そして利用者個人ごとに異なる、最適な頭部姿勢が存在することの可能性を見いだせた。

6. 結言

本年は前試作機を改善すべく 3 つのことを目標に掲げた。①睡眠中に鼾を検知し、頭部姿勢制御により自動的に鼾を解消する機能を実現し効果を確認する。②鼾解消器具に搭載しているエアバッグのサイズと形を改良し、昨年度の問題であった頭部高さ・角度の制御範囲の狭さを解消する。③睡眠時の頭部高さ・角度を制御し、呼吸流量の変化から利用者個人ごとの気道開通姿勢を特定する。①の目標は達成でき、鼾解消効果の確認ができた。②の目標は個人差による制限はあるが、昨年度より優れた頭部姿勢の可動範囲を実現できた。③の目標は 3 名の被験者で呼吸流量が最大になる頭部姿勢の違いが確認でき、気道開通姿勢の特定が実現できた。しかし、ヘッドキャップの装着感に個人差がある問題や実験時に Flow センサの固定位置にずれが生じることなどの課題点も残った。以上の課題を改善した上で、より多くの被験者で個人差を含めた頭部位置と呼吸状態の調査を行い、今まで以上に個々に合った気道開通姿勢を実現できることが望ましい。

7. 謝辞

本研究を行うにあたり、多大なご協力を賜りました長崎大学大学院医歯薬学総合研究科学歯学科の鮎瀬卓郎教授に深く御礼申し上げます。