

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350690

研究課題名(和文) ネックバンド型スマートバイオセンサによる高齢者の生活リズム分析と体調管理システム

研究課題名(英文) Neckband-type smart bio-sensor for life-rhythm analysis and health management for the elderly

研究代表者

松村 雅史 (Matsumura, Masafumi)

大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授

研究者番号：80209618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生体用電極、マイクロフォン、光・3軸加速度・温度センサを一体化させ、首もとにつけるネックバンド型スマートバイオセンサを開発し、心電図、口腔音、血圧、呼吸などの生体情報を無拘束・無意識計測する。生体情報より心拍数、笑い、ストレス低減度、嚔下、低呼吸・無呼吸などを検出する体調管理システムを構築した。介護老人施設の協力を得て、漫才などの笑いによりストレスが低減することを示した。また、咳嗽、睡眠時の低呼吸・無呼吸を検出することに成功し、介護者に知らせる高齢者見守りシステムを構築した。食事時のむせが発生したときに早急に介助にいけるので安心という意見を頂き、体調管理に応用できることを示した。

研究成果の概要(英文)：A neckband-type wearable-sensor system to manage health conditions has been developed. The sensor is comprised of an electrocardiogram electrode, a microphone, and a pulse-wave sensor. When equipped to an individual's neck, the wearable sensor can monitor ECG, along with laughter, stress, and sleep apnea trends. In cooperation with a care institution for the aged, we conducted experiments to measure the laughter and stress behavior of elderly people. Hence, it was found that stress levels are reduced by laughter, such as that generated by a comic dialog. Further, the sensor successfully detected one elderly-person's cough rate as being 92%; a care worker was then informed of this issue. Thus, the proposed system can be applied to monitor the health of aged individuals. The developed neckband-type wearable-sensor system can be worn during everyday life, and can measure laughter, stress, cough, and sleep apnea rates and levels to facilitate health management for the elderly.

研究分野：生体医工学

キーワード：体調管理 高齢者 心電図 ウェアラブルデバイス 光電脈波 ストレス 笑い 嚔下

### 1. 研究開始当初の背景

2012年、我が国における65歳以上の高齢者は3074万人(総人口の24.1%)、要介護高齢者は480万人に達している。また、単独世帯の高齢者(独居高齢者)も1894万世帯(総世帯数の38%)と年々増加していることから、高齢者の安全な生活の確保、体調変化・誤嚥・転倒などの検知と要介護度の改善は、「健康日本」の最重要課題である。

近年、高齢者の誤嚥・窒息・転倒による死亡事故が16600人に達し、急増しているため、体調を検知するバイタルサイン(心電図、体温、血中酸素濃度、血圧)の情報に加えて、口腔機能(食事、誤嚥、咳嗽)と行動の情報による総合的な体調管理が切望されている。

本研究の主題は、バイタルサイン情報に加え、口腔機能と行動の情報を無意識・無拘束にモニタリングし、医療機関と連携できる体調管理システムを開発する点にある。バイタルサインの計測では上腕や手首に装着するセンサ(脈拍、血圧、歩数)が開発されているが、会話や笑い、嚥下に関する情報を得ることが困難であり、高齢者の生活の中でバイタルサイン、口腔機能、行動の情報を総合的に計測するデバイスは見当たらない。

研究代表者は、生体情報の無意識・無拘束計測に基づく体調モニタリングに関する研究を推進し、首もとに装着するネックバンド型マイクロホンで嚥下音を検出する方法を考案し、口腔機能のリハビリテーション分野の国際誌等に掲載された研究業績を有している。また、首もとに生体用電極を装着することで心電図が誘導できることを見だし、米国特許を取得した。

以上のように研究代表者はウェアラブルセンサに関する研究実績を有している。

### 2. 研究の目的

本研究では、ウェアラブルセンサの研究成果をより発展させ、バイタルサイン・口腔機能・行動・体温センサを一体化させたネックバンド型スマートバイオセンサを開発する。次に、このバイオセンサ情報を総合的・選択的に活用して、食事、会話、運動、睡眠などを識別し、生活リズム(食事の規則性や量)を分析し、体調管理システムを開発する。このように口腔機能・行動・バイタルサイン情報を有機的に結合させ、運動や爆笑回数によるストレス解消度を評価する体調管理システムは、過去に類を見ない全く新しい試みであり、『生涯健康な社会づくり』に役立つことから本研究の社会的意義は極めて大きい。

本研究の目的を以下に示す。

(1)バイタルサインセンサ、口腔機能センサ、温度センサ、3軸加速度センサを組み込んだネックバンド型スマートバイオセンサを開発する。

(2)バイオセンサ情報を融合させることで高齢者の行動、食事、会話、笑い、睡眠を識別

し、長期間のライフレコードから生活リズムを分析するとともに体調変化やストレスを検出し、医療機関から適切なアドバイスが受けられる体調管理システムを目指している。

### 3. 研究の方法

#### (1)ネックバンド型スマートバイオセンサ

生体情報を長期間、連続的に計測するためには、日常生活で四肢や行動を拘束しない(無拘束)計測していることを意識させない(無意識)ことが必要不可欠である。

本研究では、首もとにフィットするアームにバイタルサインセンサ(心電図、脈波、血中酸素飽和濃度)と口腔機能センサを集積化して組み込み、計測データを携帯型情報端末に転送するネックバンド型スマートバイオセンサを開発し、日常生活で長期間の生体情報を収集する。

心電図を計測するネックバンド型デバイスを図1に示す。ECGセンサは、関電極を装着者の右前方と左前方に、不関電極を中心部に配置している。この3つの電極によって、心電図四肢誘導の第1誘導を反映した波形が得られる。心電図用電極には導電性シリコン樹脂を皮膚と接する表面に用い、能動電極とすることで高入力インピーダンスを実現させている。電極は着脱可能となっており、乾式電極とAg-Clゲル電極を選択することができる。またこの乾式電極はペーストが不要な乾式電極であり、柔軟性を有するので皮膚表面にフィットし、皮膚のかぶれなどが起こりにくい構造としている。この頸部での心電図計測法については、体動や周囲雑音の影響を強力に除去するノッチフィルタ技術を用いている。



(a) 電極配置



(b) フレキシブル電極

図1 ネックバンド型心電計

血液中の酸素濃度により光学的特性が変化することを利用し、頸部の皮膚表面の反射光から光電脈波と血液中の酸素飽和濃度を計測することに成功した。この発光・受光センサを集積化し、ネックバンド型スマートバイオセンサに一体化させ、心電図(ECG)と光電脈波(PPG)から脈波伝搬時間を求めることで血圧を推定する。これによりネックバンド型スマートバイオセンサを付けるだけで心電図・心拍数、脈波、血液中の酸素飽和濃度、血圧変動が計測でき、心臓循環器系並びに呼吸系の機能の長時間計測を実現する。



図2 ECG・PPG 一体型スマートバイオセンサ

図2に心電図（ECG）と光電脈波（PPG）を同時計測可能なスマートバイオセンサを示す。ECG電極で誘導された信号は増幅回路（周波数帯域 5～40Hz、増幅率 86dB）で増幅する。PPG センサで得られた信号は、遮断周波数 1.6Hz、増幅率 71dB の増幅回路を介して A/D 変換（量子化 bit 数 16bit、サンプリング周波数 500Hz）を行いコンピュータに入力し、脈波伝播時間の計算処理を行う。

(2) 口腔咽喉音による会話、笑いの計測

首もとの皮膚表面から検出される口腔音には、呼吸音、音声、摂食・嚥下に関わる音情報が含まれている。それらの音の信号帯域は異なることからフィルタ処理により雑音除去と識別する。爆笑の場合、「ワッハッハ」というように発声音が繰り返される時間的特徴を用いて 90% の精度で爆笑が検出できることを明らかにする。

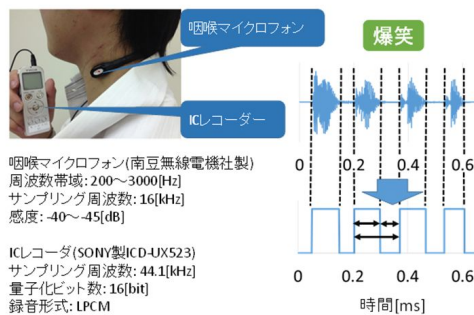


図3 口腔咽喉音による会話と笑いの計測

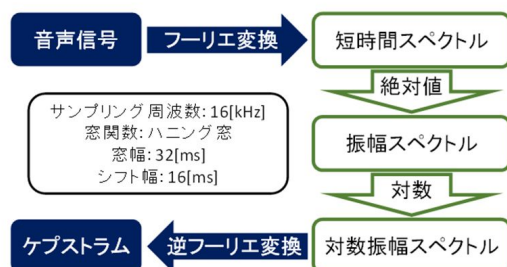


図4 口腔咽喉音の処理

(3) 口腔咽喉音による嚥下回数と咳嗽計測

日常生活下で食事の時間を検出するために、食物摂取時の嚥下音と咳嗽音を検出し、嚥下音の時間的特徴から摂食の時間を計測する。図5に示すように食塊が咽頭を通過するときに嚥下音が発生する。食塊が咽頭を通過するときは無音となるので、嚥下音の前後には無音区間が存在する。この無音時間を T1 と T2 とし、嚥下検出の特徴量とする。また、図6に示すように、口腔咽喉音の包絡線を求め、2値処理によりパルス信号に変換して、パルス幅 T3、パルスの個数 N を特徴量とした。この特徴量により口腔咽喉音から嚥下音を自動検出するシステムを開発した。また、食事のむせを検出するために、口腔咽喉音より咳嗽を検出する方法を考案した。日常生活下での嚥下頻度は高齢者の要介護度に関連することを老人介護施設の協力を得て実証する。

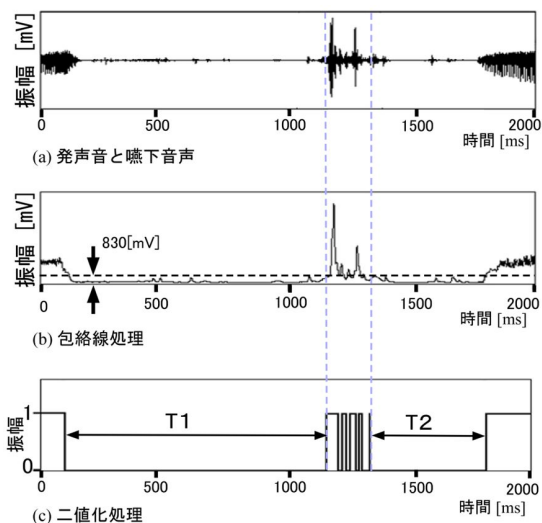


図5 口腔咽喉音の波形

Signal obtained from throat microphone

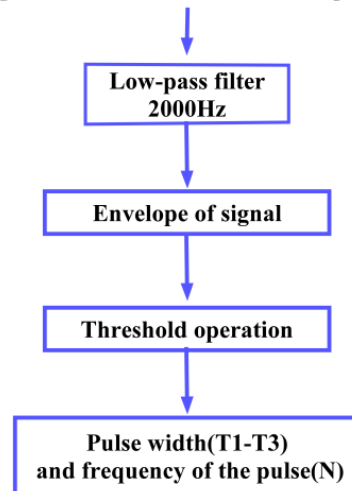


図6 口腔咽喉音の処理

#### (4)ネックバンド型呼吸モニタリングシステムによる無呼吸・低呼吸の自動検出

我が国の調査において、睡眠障害の総患者数は55万人に達した。その睡眠障害のひとつである閉塞性睡眠時無呼吸(OSA: obstructive sleep apnea)の患者数は約200万人と推定され、その85%が未診断と報告されている。この原因として、睡眠中の呼吸は自覚できないことが挙げられる。睡眠障害は居眠り事故の要因にもなり、OSA患者の交通事故発生率は健常者の約7倍といわれている。また、OSA患者は脳血管疾患や高血圧などの生活習慣病の発症率も上昇すると報告されており、体調管理においても低呼吸・無呼吸の自動検出の意義は大きい。さらに、睡眠障害による経済損失は、3兆5000億円に上ると試算されている。

そこで本研究では、口腔咽喉音分析に基づき無呼吸と低呼吸の自動検出方法を考案した。米国睡眠医学会(American Academy of Sleep Medicine: AASM)による睡眠判定マニュアル(Ver.2.1)に基づき、無呼吸とは呼吸が10秒以上停止、低呼吸とは通常呼吸と比べて気流が50%以下に低下した呼吸が10秒以上継続することとした。この無呼吸と低呼吸の自動検出が可能になることで、OSAの症状である無呼吸と低呼吸の有無を簡便に知ることができる。

低呼吸、無呼吸は呼気流が微弱であり、AASMで定められる気流が50%以下になった状態が口腔咽喉音で検出できるかが課題である。本研究では図7に示すように鼻圧と口腔咽喉音の同時計測を行い、鼻圧と口腔咽喉音の振幅の関係を明らかにし、本システムの妥当性を示す。



図7 鼻圧と口腔咽喉音の同時計測

次に医療機関で睡眠障害と診断された患者を対象として睡眠時の口腔咽喉音を分析して、低呼吸と無呼吸の判定を行う。判定方法は、ピーク間隔検出法(Time Interval of Peaks: TIP)、移動平均検出法(Moving Average: MA)、2値化検出法(Binary Digit: BD)の3つの処理・判定方法を提案して、その判定結果を組み合わせさせた結果を検証する。

「ピーク間隔」と「2値化」の利点は、無呼吸・低呼吸の時間が求められる点である。また、「ピーク間隔」は求めた頂点から、気流の大きさも推定することができる。「移動平均」の利点は、移動平均処理によって無呼吸・低呼吸時の瞬間的な雑音を無効にできる点である。

#### (5)日常生活下の笑い回数とストレス

2008年内閣府の高齢者の意識調査より独居高齢者の44.5%が自分の健康について悩んでおり、これがストレスやうつ病の原因となっている。また、高齢者が転倒や誤嚥を起こす割合も高く、生活面での不安も増加している。健康分野では、よく笑うことは、ストレス解消に効果があるとの報告がある。

本研究では介護老人施設の協力を得て高齢者の生体情報に基づき、笑いとストレスに関するデータを収集する。笑いは口腔咽喉音から計測し、ストレスは唾液アミラーゼ活性により計測する。ストレス反応の測定には、アミラーゼ分泌を活用した計測方法を用いている。この唾液アミラーゼは、交感神経-副腎髄質系の制御を受け、直接神経作用による制御も受けて分泌され、その応答時間が1~数分程度である。また、唾液アミラーゼを用いたストレス反応の測定は、唾液検査であり、携帯型の測定器があり、測定時間が1分程度であるという利点を有する。この唾液アミラーゼ活性は急性のストレス評価に有効であり、測定自体が非侵襲、簡便なストレス反応の測定法として有効であるとの報告があり、長時間モニタリングに活用した。このデータ収集では多くの高齢者の実験協力者が必要であり、老人介護施設に協力により実施した。

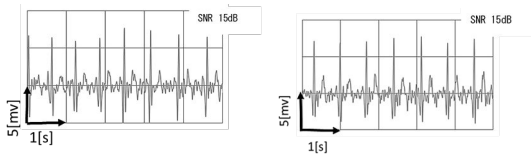
#### (6)倫理面での配慮

本研究のネックバンド型バイオセンサを用いた生体情報の計測実験は、学外の委員を含む「大阪電気通信大学における生体を対象とする研究及び教育に関する倫理委員会」に申請し、研究内容の承認を得ている(承認番号 生倫認 08-020号)。また、口腔咽喉音の無意識・無拘束計測に基づく笑い測定、心電図、呼吸、光電脈波のモニタリングでは、データをすべて暗号化された専用のUSBメモリに保存し、個人情報保護の対策をとっている。さらに研究対象者に実験方法やデータ処理に関するインフォームド・コンセントを行い、実験を行った。

## 4. 研究成果

### (1)ネックバンド型スマートバイオセンサ

柔軟性を有する能動電極を開発し、心電図の信号周波数帯域を強調するフィルタを設計した。これにより日常生活下での体動による雑音を低減させ、R-R間隔の検出率を向上させることに成功した。図8にネックバンド型心電計により、日常生活下での心電図計測結果を示す。座位安静時の心電図のSN比は20dBであり、心電図R波が閾値処理で検出できる。R-R間隔から自律神経の活動も推定可能である。日常生活下で心電図モニタリングを行った結果が同図(a)会話時と(b)飲食時である。両方ともSN比が15dBであり、安静時と同様に心拍数とR-R間隔が推定できることを示した。これらの研究成果は、生体医工学の国際会議で発表した。



(a) 会話時 (b) 飲食時  
図8 日常生活動作中の心電図計測結果

次に脈波を計測する光電脈波センサと心電図電極をネックバンドに一体化させたネックバンド型バイオセンサにより、脈波伝搬時間を計測した。ネックバンド型バイオセンサにより、心電図と光電脈の計測例を図9に示す。心電図R波のピークから加速度脈波のピークまでの時間が脈波伝搬時間である。この結果では頸部、指先へと脈波が伝わっていることがわかる。この脈波伝搬時間と脈波が伝わる距離から脈波伝搬速度が推定できる。この脈波伝搬速度は血管が硬い(血圧が高い)ほど高くなることから、脈波伝搬時間と血圧との関係を調べた結果を図10に示す。この結果よりネックバンド型バイオセンサにより脈波伝搬時間PTTから血圧が推定できることを明らかにした。

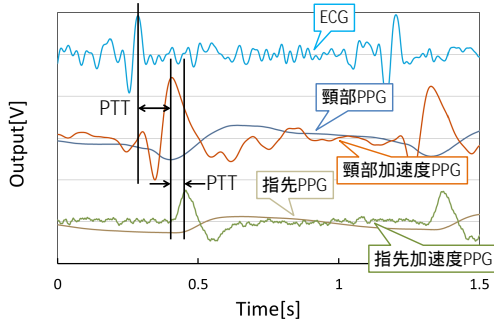


図9 脈波伝搬時間 PTT の計測

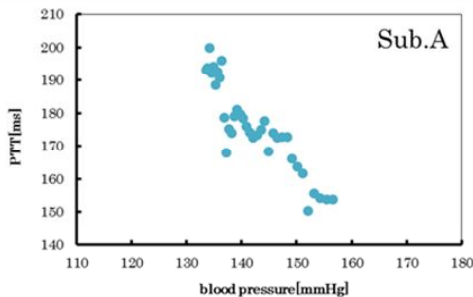


図10 血圧と脈波伝搬時間 PTT の関係

### (2) 口腔咽喉音による会話、笑いの計測

口腔咽喉音のケプストラム分析により有声音を検出し、会話、笑いを計測するシステムを開発し、日常生活下での笑い回数の長期間モニタリングを行った。まず、会話と笑いの識別は声の高さ(基本周波数)に着目した。ケプストラム分析で基本周波数を推定した結果、会話に比べて笑い声は基本周波数が高くなることが示された。また、日常生活下での行動は記録して、その結果と照合した。10時間被験者は健常人18名、1回の測定時間は

5~10時間(平均9.1時間) 総計測時間は370時間である。これらの研究成果は、電子情報通信学会、日本笑い学会で発表した。

### (3) 口腔咽喉音による嚥下回数と咳嗽計測

本研究では口腔咽喉音より嚥下音と咳嗽音を計測した。咳嗽計測についてはワイヤレスシステムを構築し、92%の咳嗽検出率を得た。食事介助において食事時のむせが発生したときに早急に介助にいけるので安心という意見を頂いた。また、笑いをポジティブに介入させることで嚥下頻度が向上することを明らかにした。嚥下音、咳嗽計測、笑いのポジティブ介入による口腔機能向上に関する研究成果は、口腔機能のリハビリテーションの国際誌、国内学会論文誌で発表した。

### (4) ネックバンド型呼吸モニタリングシステムによる無呼吸・低呼吸の自動検出

口腔咽喉音の振幅包絡線より低呼吸、無呼吸状態を判定するシステムを開発した。睡眠障害の患者の口腔咽喉音に適用し、本システムの妥当性を明らかにした。図11は鼻圧センサで計測した鼻圧Vpと口腔咽喉音Lpの振幅を比較した結果であり、Vpが50%以下となる低呼吸状態を口腔咽喉音Lpで検出可能であることを明らかにした。これらの研究成果は、電気学会論文誌で発表した。

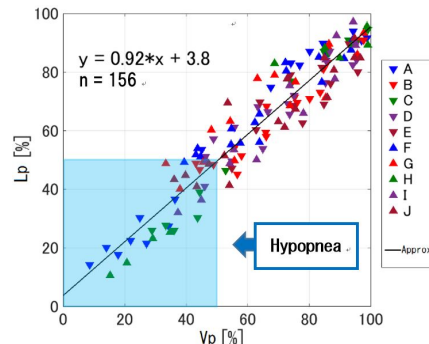


図11 鼻圧 Vp と口腔咽喉音 Lp の関係

### (5) 日常生活下の笑い回数とストレス

笑い回数をネックバンド型バイオセンサで計測し、ストレスは唾液アミラーゼにより測定した。被験者5名について笑い回数とストレスとの関係を調べた。普段の2倍以上の笑い回数によりアミラーゼ活性値を20%低減できるという指標が示され、ストレスを低減させる取り組みへ応用が期待される。これらの研究成果は、学会、学内紀要で発表した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計9件)

辻村 肇、松村雅史：口腔咽喉音の音波形分析に基づく咳嗽ワイヤレスモニタリングシステム、作業療法ジャーナル、Vol.49, No.9, 970-971 (2015)

酒井徳昭、松村雅史：デバイスメーカーによる PVC 反応の違いに関する検討 心室の機能的アンダーセンシングによる Spike on T を経験して . 日本心電学会誌「心電図」 Vol.34, No.4, pp.377-381, DOI :10.5105/jse.34.377 (2015)

水野 裕志、後田 堯嗣、松村 雅史、谷山 紘太郎、ネックバンド型電子体温計の開発, 電気学会論文誌 C, Vol. 135 No. 5, pp.481-487, DOI:10.1541/ieejieiss.135.481 (2015)

辻村 肇、黒木勇介、大平哲也、松村雅史：口腔咽喉音による笑いの長時間モニタリングとストレス低減効果、大阪電気通信大学 研究論集(自然科学編), 第50号, pp.43-51(2015年7月)(査読有)

酒井 徳昭、松村雅史：口腔咽喉音分析による無呼吸と低呼吸の無拘束モニタリング, 電気学会論文誌 C, Vol.134, No.11, pp.1613-1616, DOI:10.1541/ieejieiss.134.1613 (2014)

酒井徳昭、松田知之、松村雅史：SpO<sub>2</sub> 測定部位に関する研究 - ネックバンド型アタッチメントの試作 - . 医工学治療, Vol.26, No.2, pp.90-93(2014)

TANAKA. N, NOHARA. K, OKUNO. K, KOTANI. Y, OKAZAKI. H, MATSUMURA. M, SAKAI, T: Swallowing frequency in elderly people during daily life, Journal of Oral Rehabilitation, Vol. 40, Issue 10, pp.744-750(2013)

辻村肇, 道幸成久, 石村, 仁志, 松村雅史, 嚥下体操・カラオケ・笑いがもつ嚥下時間間隔の評価(第1報)ー介護老人保健施設入所者を対象にー, 作業療法ジャーナル, VOL.47, NO.13, pp.1496-1501(2013)

辻村肇, 松村雅史, 能動的笑い発声による高齢者の嚥下機能への影響について, 笑い学 研究 (20), pp.55-61(2013-08-31)

〔学会発表〕(計7件)

西本光輝, 松村雅史, ネックバンド型心電図計測の体動雑音の低減, 平成27年度電気関係学会関西支部連合大会, G2-6, 平成27年11月14日, 摂南大学(大阪府寝屋川市)

浦南翔一, 酒井徳昭, 大石利光, 松村雅史, ネックバンド型呼吸モニタリングシステムによる無呼吸・低呼吸の自動検出, 平成27年度電気関係学会関西支部連合大会, G11-15, 平成27年11月14日, 摂南大学(大阪府寝屋川市)

西本光輝, 黒木勇介, 松村雅史, 心電図・光電脈波センサー一体型ネックバンドデバイスによる脈波伝播時間のモニタリング, 信学技報, vol. 115, no. 116, MBE2015-19, pp. 35-38, 2015年6月26日, 北海道大学(札幌市北区)

Hajime Tsujimura and Masafumi Matsumura: Non-restriction monitoring using the wireless cough-measuring system, 16th International Congress of the World Federation of Occupational Therapists, PCI 18-14(June 18-21, 2014) Pacifico Yokohama, Kanagawa, Japan

N. Sakai and M. Matsumura, Estimate of the nose current of air at the time of apnea or hypopnea by throat sound analysis, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, SaB08.14(2013), Osaka International Convention Center, Osaka, JAPAN.

S. Ikeda, H. Ishimura, and M. Matsumura, Non-restrictive measurement of Pulse Transit Time using ECG Sensor and PPG Sensor mounted on the neckband, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, SaB8.10(2013), Osaka International Convention Center, Osaka, JAPAN.

H. Tsujimura and M. Matsumura, The effect of laughter intervention on swallowing frequency, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, SaB8.13(2013), Osaka International Convention Center, Osaka, JAPAN.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

取得状況(計1件)  
名称: ELECTRODE DEVICE AND ELECTROCARDIOGRAPHIC MEASUREMENT DEVICE.  
発明者: 松村雅史(Masafumi MATSUMURA)  
権利者: 大阪電気通信大学  
種類: 米国特許  
番号: No.US 8,428,701 B2  
取得年月日: Apr. 23, 2013  
国内外の別: 外国(米国)

〔その他〕  
大阪電気通信大学教員データベース  
<https://research.osakac.ac.jp/index.php?%E6%9D%BE%E6%9D%91%E3%80%80%E9%9B%85%E5%8F%B2>

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
松村 雅史(Masafumi Matsumura)  
大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授  
研究者番号: 80209618