

機関番号：16101
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20791468
 研究課題名（和文） 姿勢センサを用いた歯科検査・治療支援機器（デンタルナビゲータ）の開発
 研究課題名（英文） Development of the dental examinations and dental treatment using motion control sensor
 研究代表者
 石田 雄一（ISHIDA YUICHI）
 徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス研究部・助教
 研究者番号：90403708

研究成果の概要（和文）：姿勢検出センサは、X, Y, Zの3軸の全方位の姿勢角度をワイヤレス・リアルタイムで測定可能である。角度計測や平行性を必要とする歯科処置は多く、今回我々は、歯科検査・治療を支援する機器の開発を行うとともに、インプラント体の埋入、義歯製作時の仮想咬合平面の設定に注目し、姿勢検出センサの応用が可能かどうかの検討を行った。その結果、姿勢検出センサの臨床応用および練習用・訓練用機器への応用の可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：The motion control sensor can measure the posture angles of X, Y and Z axis of the object as all directional angle analysis of the three dimensions by wireless and real time. In this study we developed a novel apparatus using this motion control sensor to support dental examinations and dental treatment and examined a possibility of clinical application of this apparatus especially for dental implant placement or occlusal plane orientation. Our results suggested that the motion control sensor may be a useful tool for a clinical apparatus.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・歯科医用工学・再生歯学

キーワード：MIセンサ、姿勢検出センサ、インプラントナビゲーションシステム、仮想咬合平面

1. 研究開始当初の背景

アモルファスワイヤの磁気インダクタンス効果を利用した MI センサは、0.1 mG の感度を持つ磁気センサである。これを用いたモーションコントロールセンサ (AMI601, 愛知製鋼) は世界初 3 方向の磁気と 3 方向の加速度を感知するための各々の MI センサと、そのセンサを動作させるための制御用 IC を小型パッケージに集積化したインテリジェント 1 チップ IC である (AMI601 の制御用 IC は、6 個の MI センサから磁気信号を検出するための専用回路と、各センサの原点と感度を適正な値に補正を行うことができる増幅器と、周囲温度を測定できる温度センサと、12bitAD コンバータと、I2C のシリアル出力回路と、出力制御ができる定電圧回路と、各回路を制御できる 8032 マイコンとを持っている)。X, Y, Z の 3 軸の全方位の姿勢角度：ローリング、ピッチング、ヨーイングの計測が可能になっている。しかも、センサ自体がきわめて小さく、計測対象をほとんど拘束しない。

一方、補綴治療のなかで、角度計測や平行性を必要とするものとして、顎路、咬合平面、支台歯軸面、インプラント窩の形成角度、人工歯の排列位置などが挙げられる。また、義歯・支台歯の動揺度、頭部の動揺度、関節の弛緩度などの測定検査機器としてもこのセンサの応用が期待される。

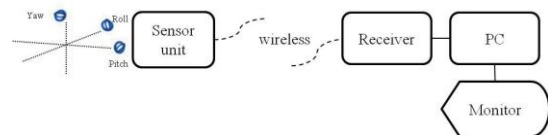
研究の目的

本研究では、この姿勢センサを用いて角度、平行性を必要とする歯科 (補綴) 検査・治療を支援する機器 (デンタルナビゲータ) の開発を目的としている。その中でも、(1) 姿勢検出センサを用いたインプラントの埋入、(2) 姿勢検出センサを用いた仮想咬合平面

の設定に注目し、研究を行った。

研究の方法

我々の開発したシステムは、埋入角度を姿勢検出センサでモニターする方法を採用しており、その概要を下図に示す。



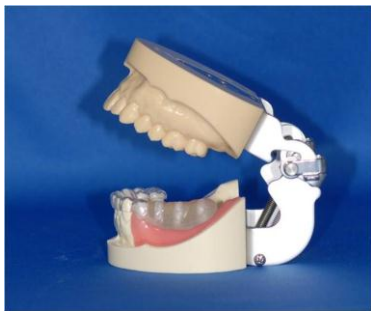
使用するセンサは愛知製鋼製 AMI601 で、1 チップで X, Y, Z の 3 軸の回転を検出できる。これに、電源と送信機を組み込んだセンサユニット (60 mm × 35 mm × 20 mm, 48.5 g) を姿勢検出センサとした。

(1) 姿勢検出センサを用いたインプラントの埋入

①評価者：本学病院勤務歯科医師 5 名に、姿勢検出センサシステムを使用して模型上でのインプラント埋入窩形成を行わせた。この評価者は、臨床および模型実習でのインプラント埋入経験はなく、実験方法、及び実験結果の取り扱いについて説明し、承諾を得てから実験を行った。

②外科用ガイドプレートの製作：F567 部が欠損したインプラント実習用顎模型 (以下、顎模型) を用いた。顎模型の歯列欠損の歯槽部分 (以下、インプラント用ソケット) は着脱可能となっており、疑似粘膜も付与されている。この顎模型の複製模型を製作し、咬合器に装着した。F567 部への最終のインプラント歯冠補綴を想定した歯冠形態をワックスで作製して、インプラント窩形成部位を決定した。次いで、厚さ 3 mm の熱可塑性樹脂により外科用ガイドプレートとなる外枠を作製し、内部を即時重合レジンで満した。この歯

冠部にそれぞれのインプラントの埋入方向が平行になるように卓上ボール盤を用いてガイドホールを形成した。ガイドホールの形成はインプラント用ソケットにも貫通するように形成し、これをインプラント窩の形成方向のコントロールとした。ガイドホール内には、内径 2.2 mm、長さ 5.0 mm のステンレスチューブを設置し、これを外科用ガイドプレートとした。



<外科用ガイドプレート>

③インプラント窩の形成：顎模型を歯科用シミュレータに設置し、歯科用マイクロモーターと直径 2.0 mm のガイドドリルを用いて、二通りの条件下で 567 部に 3 カ所のインプラント窩の形成を行わせた。一つ目の条件は、外科用ガイドプレートを用いた形成であり、事前にガイドプレートの使用方法を説明してから形成させた。

次の条件は、姿勢検出センサシステムを用いての形成で、姿勢検出センサを付着させた歯科用マイクロモーターに対して、PC に映し出されている角度変化に注意しながら 567 部に対してインプラント窩の形成を行った。



<歯科用マイクロモーターへの姿勢検出センサの設置>

この際、インプラント窩の形成部位は、インプラント用ソケットにマーキングしておき、その埋入方向は外科用ガイドプレートの 5 部の埋入方向と一致させた。また、どちらの条件とも、歯肉粘膜の剥離を想定して擬似粘膜部は除去した状態で形成を行った。

④インプラント窩の形成精度の測定：インプラント用ソケットを顎模型より取り外した後、3 カ所のインプラント窩に外径 1.9 mm のステンレスパイプを挿入し、歯列に対する正面観（近心方向）と側面観（頬側方向）をデジタルカメラで撮影した。所用の精度が得られるように、インプラント用ソケットは自家製の固定装置上に設置して、撮影カメラとの位置関係に再現性を持たせた。そして得られた画像を PC に取り込み、Image J（アメリカ国立衛生研究所，USA）を用いてインプラント窩の角度を測定した後、コントロールとの差を算出した。また、統計処理は 2 元配置分散分析と Mann-Whitney 検定 ($p < 0.05$) に行った。

（2）姿勢検出センサを用いた仮想咬合平面の設定

①被験者：臨床経験 5 年の本学病院勤務歯科医師 1 名を対象とした。

②咬合堤の調整：上顎無歯顎模型を用いて従来法に従って咬合床を製作し、咬合堤の仮想咬合平面の設定を二通りの条件下で行い、作業精度と調整時間について比較した。咬合堤の調整においては、両者ともにあらかじめ切歯点、つまり前方基準点を設定しておき、加えて臼歯部の高径を高くしておくことで、咬合堤調整用ヘラを用いてワックスを溶かす操作のみで調整できるように、かつその調整量もほぼ同じになるように設定した。また、ここでの仮想咬合平面は、模型基底面の平面

と一致すると仮定した。

一つ目の条件は、目視で模型基底面と咬合堤の平面の誤差を確認し、咬合堤を模型から外した状態で調整を行い、これを模型に戻して目視で再確認した。この作業を模型基底面と咬合堤の平面が一致したと思うまで繰り返し、これをコントロールとした。

二つ目の条件では、姿勢検出センサを下図のように模型基底面と咬合堤調整用ヘラの柄に設置した。



<咬合堤調整用ヘラへの姿勢検出センサの設置>

次に模型基底面と咬合堤調整用ヘラのヘラ部の平面を一致させ、これを基準姿勢とした。そして PC モニタで角度変化を確認しながら、咬合堤を基準姿勢と一致するように調整した。

咬合堤の調整精度の測定：調整が終了した咬合堤を模型に戻し、歯列に対する正面観（近心方向）と側面観（頬側方向）をデジタルカメラで撮影した。所用の精度が得られるように、模型は自家製の固定装置上に設置して、撮影カメラとの位置関係に再現性を持たせた。そして得られた画像を PC に取り込み、Image J を用いて咬合堤の平面と模型基底面との角度を測定し、それぞれの調整誤差を比較した。また、統計処理は Mann-Whitney 検定 ($p < 0.05$) にて行った。

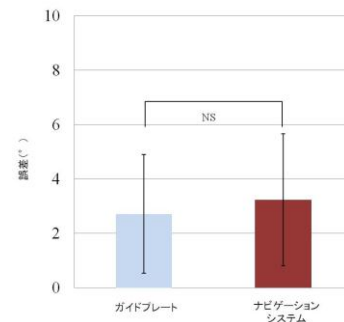
4. 研究成果

(1) 姿勢検出センサを用いたインプラント

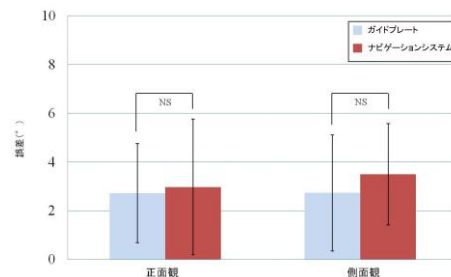
の埋入

外科用ガイドプレートを用いた形成では平均誤差は $2.7 \pm 2.2^\circ$ 、最大誤差は 8.3° 、ナビゲーションシステムで平均誤差は $3.2 \pm 2.4^\circ$ 、最大誤差は 8.6° であったが、両者の間に有意差は認められなかった。

<外科用ガイドプレートとナビゲーションシステムの埋入誤差>



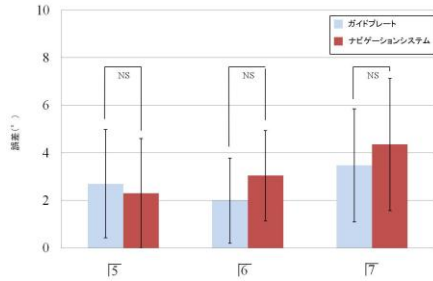
また、正面観と側面観におけるそれぞれの誤差について、外科用ガイドプレートでの正面観の平均誤差は $2.7 \pm 2.0^\circ$ 、側面観の平均誤差は $2.7 \pm 2.4^\circ$ であった。ナビゲーションシステムにおいては、正面観の平均誤差は $3.0 \pm 2.8^\circ$ 、側面観の平均誤差は $3.5 \pm 2.1^\circ$ であり、近遠心/頬舌側の区別による影響は認められなかった。



<正面観、側面観における外科用ガイドプレートとナビゲーションシステムの埋入誤差>

さらに、部位別の誤差について、外科用ガイドプレートでの $\Gamma 5$ 部における平均誤差は $2.7 \pm 2.3^\circ$ 、 $\Gamma 6$ 部における平均誤差は $2.0 \pm 1.8^\circ$ 、 $\Gamma 7$ 部における平均誤差は $3.5 \pm 2.4^\circ$ であった。ナビゲーションシステムに

においては、 $\Gamma 5$ 部における平均誤差は $2.3 \pm 2.3^\circ$ 、 $\Gamma 6$ 部における平均誤差は $3.0 \pm 1.9^\circ$ 、 $\Gamma 7$ 部における平均誤差は $4.3 \pm 2.8^\circ$ であり、部位における影響も認められなかった。



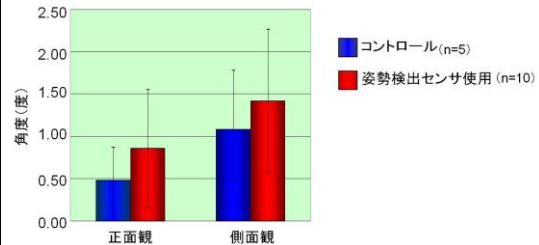
<部位別の外科用ガイドプレートとナビゲーションシステムの埋入誤差>

今回用いたガイドプレートは、残存歯と擬似粘膜上に熱可塑性樹脂を圧接して製作している歯牙・粘膜支持タイプのガイドプレートであり、ガイドプレートは擬似粘膜を剥離して使用していることも配慮しなければならないが、ガイドプレート使用時と姿勢検出センサ使用時との間にインプラント窩形成精度の差は認められなかった。さらに、本システムでは従来のガイドプレートを使用した場合に生じるガイドプレートの動揺や開口量の影響を受けることがなく、注水量の減少も生じないため、ガイドプレート法の改善のためにも本システムは有用性であると考えられる。

ただし、本システムでは埋入位置の情報はなく、模型とCTデータによって決定された埋入位置を口腔内にトレースするためのガイドプレートを用意したり、何らかの位置情報をトランスファーする必要がある。しかし、本システムは、臨床上的問題を起こしやすい埋入角度情報を簡便に安価に提供できるため、学生用の実習用機器や臨床経験の浅い若手臨床医の練習用機器としても大いに利用できるものと考えられる。

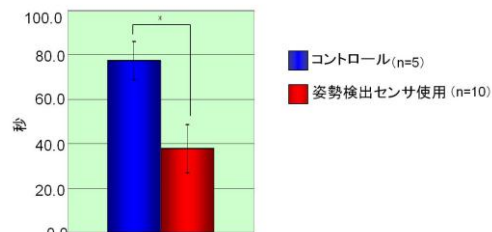
(2) 姿勢検出センサを用いた仮想咬合平面の設定

正面観、側面観ともに、目視で行った方が約 0.4° 前後精度が高い結果となったが、統計学的な有意差はみとめられなかった。



<咬合堤と模型基底面の平面の誤差>

調整時間はセンサを使用した場合、コントロールに比べて約半分となり、有意に短い時間となった。



<コントロールと姿勢検出センサ使用時の調整時間の差>

この結果から、精度としてはまだ目視に劣る傾向にあるが、作業効率は格段に向上しており、臨床への応用の可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

1, 石田雄一, 伊藤照明, 荒井一生, 西中英伸, 佐藤 裕, 友竹偉則, 市川哲雄: 姿勢検出センサを用いたインプラント埋入ナビゲーションシステム. 日口腔インプラント誌 23, 715-738 (2010). 査読有り

〔学会発表〕（計4件）

1. 石田雄一，後藤崇晴，永尾 寛，荒井一生，市川哲雄：MI センサを応用した姿勢検出センサの補綴治療への応用 - 第2報 臨床プロトタイプ-. 第19回日本磁気歯科学会学術大会，2009.11.14. 盛岡
2. 石田雄一，佐藤 裕，永尾 寛，市川哲雄：MI センサ内蔵姿勢検出センサの仮想咬合平面設定への応用. 第18回日本磁気歯科学会学術大会，2008.10.25. 埼玉

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 雄一 (ISHIDA YUICHI)

徳島大学・大学院ヘルスバイオサイエンス
研究部・助教

研究者番号：90403708