

機関番号：15401
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008 ～ 2010
 課題番号：20592299
 研究課題名（和文）高度インプラント診断治療統合システムのためのマルチフィジックスシミュレータの開発
 研究課題名（英文）Development of multi-physics simulator for hyper integrated diagnosis and treatment systems of dental implant
 研究代表者
 日浅 恭 (HIASA KYOU)
 広島大学・病院・助教
 研究者番号：60304432

研究成果の概要（和文）：

インプラント治療におけるマルチフィジックスシミュレータの目指し，研究を行った。X線口内法レントゲン写真を利用して，残存歯の咬合支持能力指数算出システムを開発することができた。算出した歯根表面積はインプラント表面積より大きいことから，歯根とインプラントの咬合支持負担能力は面積から直接比較することができないことが明らかとなった。インプラント周囲骨の支持能力の指数化のため，インプラント埋入患者の骨密度を調査し，インプラントの予後が骨質に影響されることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this study is to develop of multi-physics simulator for hyper integrated diagnosis and treatment systems of dental implant. We developed Residual Periodontal Ligament Index using intra oral X-ray films. It was found that the area of residual root surface was larger than that of dental implant, and, the ability of bearing occlusal force couldn't compare from values of only surface area. Bone density of implant sight affect to prognosis of implant treatment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：歯学

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：インプラント，マルチフィジックス，診断治療

1. 研究開始当初の背景

インプラントを支台として利用する補綴治療は，その普及と共に，その治療結果への患者の要求度が高くなってきている。現在，主流のチタンスクリー型インプラントは，埋入部位に十分な骨量があれば，オッセオインテグレーションの獲得はほぼ 100%近くできるようになった。このため，患者のニーズ

も相まって，インプラント補綴における新たな目標は，不十分な骨量に対して骨を増生することや，より審美的で自然な治療結果を得ること，より早く機能させること，などに移って来ている。現在インプラント治療を取り巻く研究課題は，①オッセオインテグレーションの早期獲得，②不足する骨の増生など生物科学的分野と③装着する上部構造の理工

学的性質を研究する分野に大きく分かれているが、臨床的なインプラント治療全体を俯瞰する研究は極めて少ない。

近年、CAD/CAMを用いた精密加工技術が歯科界にも応用されつつある。中でも、顎骨3次元CT画像データを用いて、コンピュータ上で設計したサージカルステントを光造形やミリングで、また、上部構造のフレームをミリングで製作することが実現されている。さらに、これらの技術を応用して、インプラントフィクスチャーの埋入と上部構造の装着を同時に行い、即時機能回復を行うシステムも紹介されている。しかしながら、予知性の高い補綴主導型インプラント治療を構築し、臨床応用するには、いまだ十分なEBMは確立されていない。

ある事象を異なる物理現象として捕らえ、その結果を統合するマルチフィジックス解析が様々な研究分野に用いられている。我々はすでに、インプラントを取り巻く咬合や骨構造の問題について、異なるパラメータをもちいて研究してきており、この手法を用いてこれらの研究成果を発展させれば、インプラントによる咬合支持能力を評価・診断するマルチフィジックスシミュレータを開発することが可能であると考えた。

2. 研究の目的

本課題は、インプラント補綴治療を多くの患者へ、より安全・安心に提供する科学的根拠を目指し、補綴主導型コンセプトによるインプラント治療の診断・治療・予後・治療結果のフィードバックを統合した新しいシステムを構築すること目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、補綴主導型コンセプトによるインプラント治療の診断・治療・予後・治療結果のフィードバックを統合した新しいシステムを構築するため、インプラント支持補綴装置に加わる荷重、インプラントを支持する顎骨能力を指数化してパラメータとし、両者がインプラント埋入時および埋入直後、荷重開始後の短期的生存や長期的生存に及ぼす影響を検証することでインプラントによる適切な咬合支持能力を評価・診断するマルチフィジックスシミュレータを開発することにした。そこで次の順に研究を進めていくように計画した。

- (1) 顎骨のX線CT撮影データを立体構築し、抽出した歯根の3Dデータから残存歯の有効歯根表面積を抽出。上下顎の歯列模型から3次元データをサンプリング、抽出した咬合接触面積を算出する。有効歯根表面積と咬合接触面積から咬合支持能

力指数を算出するシステムを構築する。

- (2) (1)のシステムに、インプラントフィクスチャーの形状データと対合関係を考慮したインプラント上部構造の3次元データを合成し、インプラントおよびインプラント補綴装置における、インプラントの表面積と咬合接触面積を算出し、インプラント補綴装置による適切な咬合支持能力を評価・診断するマルチフィジックスシミュレータを開発する。
- (3) インプラント治療が終了した症例について、残存歯の咬合支持能力指数とインプラントの古豪支持能力指数を算出することで、本システムを用いた再評価を行い、診断・治療・予後に関するデータを集積し、高度インプラント診断治療統合システムを確立する。

4. 研究成果

- (1) 咬合支持能力指数算出システムの検討

X線CT撮影装置(Aquilion TSX-101A, 東芝メディカルシステムズ, 小田原)にて135 kV, 150 mA, 0.5 sec, スライス厚0.5 mm, ピッチ0.3 mmで撮影した撮影データをDicom形式で出力、立体構築した顎骨の3Dデータから残存歯の歯根表面データの出力を試みた。しかしながら、データ画像の解像度が低いため、から抽出される歯根表面データと実測値の差が大きく、実際の患者の口腔内には何らかの金属修復物が存在するために撮影データに顕著なアルチファクトが発生しており、CT撮影データから歯根表面積を算出することは困難であることが判明した。このため、X線口内法写真を利用した歯根表面積の算出方法を検討することにした。

歯根膜支持能力を導く歯根膜表面積に関する従来の研究の報告は、これまでいくつかがなされている(Jepsen, Hujoelら, Yamamotoら)。Yamamotoらは日本人の抜去歯計420歯のattachment levelの測定値から、上下顎歯種別の残存歯根膜表面積率を予測する方法を導いており、われわれは、この方法を応用して、Residual Periodontal Ligament Index (RPLI)を考案した。Yamamotoらの方法に従い、Attachment levelの喪失量をX mmとすると、残存歯根膜表面積率Y%は、 $Y = a + b \times X$ で表される。この式におけるaとbは、歯種毎に設定された係数である。次いでAttachment levelの喪失のない状態を初期値としてNormal Periodontal Ligament Index (NPLI)を健全歯根膜表面積を以下の式で求めた。NPLI = (歯種別健全歯根膜表面積) / (14歯種合計健全歯根膜表面積) × 50。このNPLIは上下顎28歯合計で100となるよう設定した。さらに、RPLIを $RPLI = NPLI \times Y / 10$ の式で求めた(表1)。

【表 1】 歯種別の NPLI と RPLI

2	13.4	202.9	2.6	2.6 × (97.7-8.73X)/100
3	16.6	291.9	3.8	3.8 × (99.4-7.09X)/100
4	12.9	249.4	3.2	3.2 × (98.2-8.53X)/100
5	13.9	232.9	3.0	3.0 × (96.6-8.67X)/100
6	13.5	467.7	6.0	6.0 × (102.4-8.28X)/100
7	12.7	368.4	4.8	4.8 × (99.8-8.49X)/100
8	11.3	190.8	2.5	2.5 × (95.3-10.6X)/100
下顎				
1	12.0	159.5	2.1	2.1 × (98.2-8.00X)/100
2	12.6	180.0	2.3	2.3 × (98.9-8.90X)/100
3	14.9	265.2	3.4	3.4 × (98.7-7.67X)/100
4	14.7	237.5	3.1	3.1 × (97.2-8.16X)/100
5	14.0	212.4	2.7	2.7 × (96.5-8.56X)/100
6	12.6	432.8	5.6	5.6 × (100.7-7.99X)/100
7	12.6	368.4	4.8	4.8 × (98.9-8.42X)/100
8	10.2	166.5	2.2	2.2 × (91.4-11.0X)/100

$$RPLI = NPLI \times (a + bX) / 100$$

a, b: 歯種別係数, X: attachment level (mm) (1 ≤ X < 歯種別歯根長)

表 3 Eichner の咬合支持域による分類
(両側小臼歯部および大臼歯部の 4 つの咬合支持域において上下)

これを利用して、Attachment Level の喪失量を X 線口内法レントゲン写真から測定することで、RPLI を算出することが可能となり、さらに、早見表を利用することで簡便に RPLI を算出できるようにした (表 2)

【表 2】 歯種別の NPLI と RPLI

AL (mm)		AL: attachment level (mm)								
RPLI	14				0.0					
	13				0.3					
	12				0.5			0.2		
	11	0.1	0.0	0.8	0.1	0.0	0.7	0.3		
	10	0.3	0.3	1.1	0.4	0.3	1.2	0.7		
	9	0.5	0.5	1.3	0.7	0.6	1.7	1.1	0.0	
	8	0.8	0.7	1.6	1.0	0.8	2.2	1.5	0.3	
	7	1.0	1.0	1.9	1.2	1.1	2.7	1.9	0.5	
	6	1.2	1.2	2.1	1.5	1.3	3.2	2.3	0.8	
	5	1.4	1.4	2.4	1.8	1.6	3.7	2.7	1.0	
	4	1.6	1.6	2.7	2.1	1.9	4.2	3.1	1.3	
	3	1.9	1.9	2.9	2.3	2.1	4.7	3.5	1.6	
2	2.1	2.1	3.2	2.6	2.4	5.2	3.9	1.8		
1	2.3	2.3	3.5	2.9	2.6	5.7	4.3	2.1		
NPLI	2.6	2.6	3.8	3.2	3.0	6.0	4.8	2.5		
歯種	1	2	3	4	5	6	7	8		
NPLI	2.1	2.3	3.4	3.1	2.7	5.6	4.8	2.2		
RPLI	1	1.9	2.1	3.1	2.7	2.4	5.2	4.3	1.7	
	2	1.7	1.9	2.9	2.5	2.2	4.7	3.9	1.5	
	3	1.5	1.7	2.6	2.2	1.9	4.3	3.5	1.3	
	4	1.4	1.5	2.3	2.0	1.7	3.8	3.1	1.0	
	5	1.2	1.3	2.1	1.7	1.5	3.4	2.7	0.8	
	6	1.0	1.1	1.8	1.5	1.2	3.0	2.3	0.5	
	7	0.9	0.9	1.5	1.2	1.0	2.5	1.9	0.3	
	8	0.7	0.6	1.3	1.0	0.8	2.1	1.5	0.1	
	9	0.5	0.4	1.0	0.7	0.5	1.6	1.1		
	10	0.4	0.2	0.8	0.5	0.3	1.2	0.7		
	11	0.2	0.0	0.5	0.2	0.1	0.7	0.3		
	12	0.0		0.2			0.3			
AL (mm)										

□ 健全歯根膜長の約 2/3
□ 健全歯根膜長の約 1/2

このように、残存歯の Attachment Level n の喪失を測定することで歯根膜表面積を近似し、残存歯の咬合支持負担能力指数を算出するシステムを開発することができた。

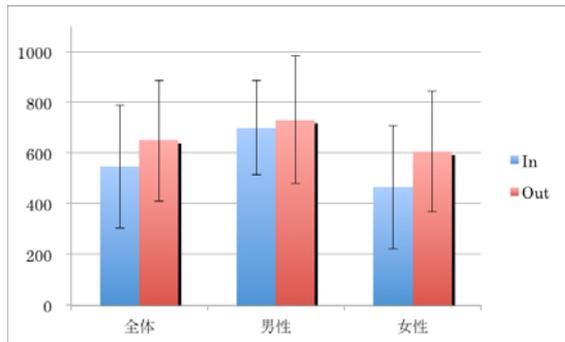
(2) インプラントにおける咬合支持指数算出システムの検討

インプラントにおける咬合支持歯数算出に際し、当初は歯根表面積とインプラント表面積をそれぞれ算出し両者を比較検討する計画であった。しかしながら、実際に算出した歯根表面積は、インプラント表面積と比較すると全ての部位において大きい値を示し、歯よりも咬合支持能力の高いインプラントとはそのままでは比較できないことが明らかになった。これは、インプラントが顎骨と直接接触しているのに対し、歯根は歯根膜における歯周靭帯を介しているため、歯への加重が歯周靭帯の線維を介して骨に支持されるためと考えられた。このことから、歯根とインプラントの咬合支持能力は表面積そのものを指数化するのではなく、弾性係数のようなパラメータが必要とされることが示唆された。

インプラントにおける咬合支持能力は、インプラントが骨と直接接触していることから、インプラントを支持する骨の骨質に依存すると考えられる。このことから、インプラント埋入部位の骨質の評価法を検討することにした。顎骨における骨質評価法は、これまで皮質骨と海綿骨の骨構造の違いによる方法 (Lekholm と Zarb ら) が用いられてきた。この方法は、主観的判断による大雑把な分類であるため試料間の比較や定量化が困難であることから、最近では X 線 CT の骨密度を用いた評価方法 (Norton と Gamble ら) がよく用いられている。さらに近年では、骨粗鬆症において骨質評価についての指針がまとめられ、骨質は骨密度と骨構造の双方から評価すべきであることが提唱されている。しかしながら、骨構造については様々な評価法があげられているものの、骨質と強い相関を示す指標は明確になっておらず、未だ確立されていないと考えられる。そこで、本研究においては、インプラント埋入部位の骨質を評価するため、骨密度を用いて検討することにした。

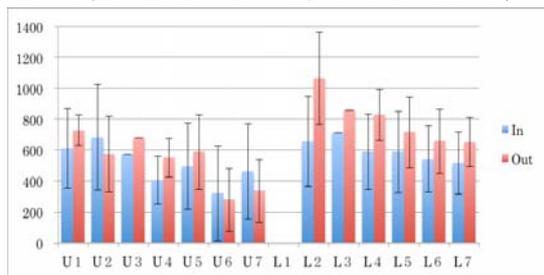
2003 年から 2010 年までに広島大学病院口腔インプラント診療科にてインプラント埋入術前診査に X 線 CT を撮影した患者 51 名 (男性 18 名, 19-76 歳, 平均年齢 55.8 ± 12.3, 女性 33 名, 29-77 歳, 平均年齢 57.1 ± 10.7) を対象に 104 部位を試料とした。X 線 CT は、撮影装置 (Aquilion TSX-101A, 東芝メディカルシステムズ, 小田原) を用いて 135 kV, 150 mA, 0.5 sec, スライス厚 0.5 mm, ピッチ 0.3 mm で撮影し、得られたデータを Dicom 形式で出力、解析ソフト (Simplant, Materialise Dental Japan, 東京) で立体構築、埋入予定インプラント外形の内側 0-1.0 mm および外側 0-1.0 mm を関心領域として骨密度を解析した。内側 0-1.0 mm の平均骨密

度 (In) および外側 0~1.0 mm の平均骨密度 (Out) を試料全体および男女別に分けて比較すると (図 1),



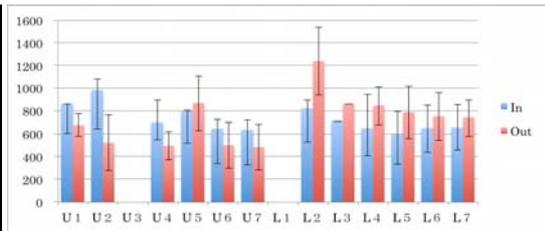
【図 1】 試料の平均骨密度 (HU)

In の値では男性の方が女性よりも有意に高い値を示し、女性において Out は In と比較して有意に高い値であった ($p < 0.01$)。Out の関心領域は In と比較して皮質骨領域を多く含むため高い値を示す傾向が強いと考えられる。皮質骨自体の骨密度は男女差が小さいことから、Out においては有意差を認めず、海綿骨領域の骨梁の差異から In においては男女差が認められたと考えられた。骨密度と年齢との関係を検討したが、対象全体においても性別においても、年齢ともに骨密度が低下する傾向はあるものの有意差は認められなかった。近年、男性における骨粗鬆症の報告が増加してきている。これまで、一般的には閉経後の女性において骨梁の吸収が進行し、病的骨折が生じることが問題視されてきた。顎骨においても同様の傾向の報告されているが、男性においても、加齢による骨梁構造の吸収は認められる可能性が示唆された。埋入部位の歯種ごとに比較すると (図 2),

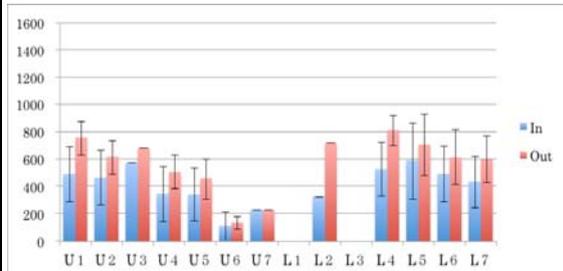


【図 2】 歯種と骨密度の関係

上下顎ともに前歯から後方に向かうに従い低い値を示す傾向が認められ、上顎よりも下顎の方が高い値を示す傾向を認めた。男女別に比較すると (図 3, 4),

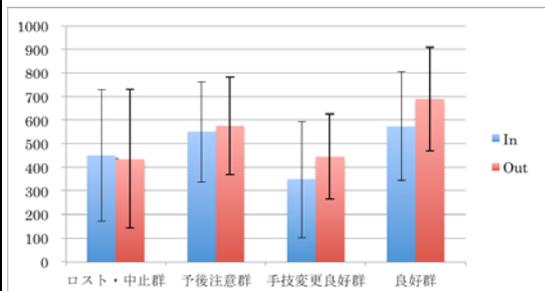


【図 3】 歯種と骨密度との関係 (男性)



【図 4】 歯種と骨密度との関係 (女性)

男性と比較して女性の方がその傾向が強いことが判明した。インプラント埋入部位の骨密度と初期固定や予後との関連を検討してみることにした。試料を、インプラント埋入後撤去したもしくは埋入を中止したもの (ロスト・中止群), 術後の経過が不良であったが撤去には至らなかった群 (予後注意群), 埋入手術時の初期固定の不良などから手技を変更したものの経過は良好なもの (手技変更良好群), 問題を生じなかったもの (良好群) に分けてみると (図 5),



【図 5】 臨床的結果と骨密度との関係

良好群と比較して、その他は低い傾向を示すものの、有意な差は認められず、顎骨における骨密度は性別や年齢の影響を受けるものの、臨床成績には影響を及ぼしていないことが明らかになった。臨床的な見地からは、骨密度はインプラントの初期固定に大きな影響を及ぼすことは明らかである。とりわけ、HU が 200 以下、Lekholm と Zarb らの骨質 IV に分類される場合に、通法通りのインプラント窩の形成を行うと初期固定が不良となる可能性が高く、初期固定が全く得られない場合も経験する。しかしながら、術前の診査で埋入部位の骨密度が低い場合には、これまでの報告から、アダプテーションテクニックによる形成など臨床的な対応が提唱されてい

ることから、骨質が不良な場合には、リスクは大きいものの、適切な対応をすることにより臨床成績には影響を及ぼさなかったものと考えられた。

以上のように、インプラント治療におけるマルチフィジックスシミュレータの目指し、研究を行った。インプラント補綴治療の予後は、インプラント上部構造を通じてインプラント周囲骨が負担する荷重と、その負担能力のバランスにより決定されると予想されることから、インプラント上部構造の負担する荷重を、残存する歯根の負担能力と上下歯列の接触領域から明らかにできるのではと考えた。X線CTから立体データを得られるのではと考えたが、実際の患者の撮影データでは口腔内金属修復物のアルチファクトが予想以上に悪影響を及ぼし、困難であることが判明した。このため、X線口内法レントゲン写真を利用して、歯根表面積を近似して算出する方法を考案した。インプラント周囲骨の支持能力は、骨密度に依存することが予想されたため、骨密度と臨床結果との関連を調べたところ、インプラント埋入手術はこれまでの臨床報告から、骨密度が不良な場合には必要な対応をすることでそのリスクを回避していることから、骨密度は短期臨床予後に大きな影響を示してはいないことが明らかになった。また、歯根とインプラントの支持能力を指数化することを計画したが、表面積の数値は、インプラントの方が明らかに小さく、歯とインプラントの解剖学的構造の差異から、これらをそのまま比較することは困難であり、指数化のため新たなパラメータが必要であることが明らかになった。

以上から、高度インプラント診断治療統合システムのためのマルチフィジックスシミュレータの開発における一端を明らかにすることができたと考えられた。

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4件)

1. 水町 亘, 阿部泰彦, 野上敬介, 田地 豪, 日浅 恭, 岡崎洋平, 石田秀幸, 津賀一弘, 赤川安正, ブリッジの支台歯選択における新しい咬合支持能力指数の応用 広島大学歯学会雑誌, 42, 査読有, 2011, pp151-154.
2. Abe Yasuhiko, Taji Tsuyoshi, Hiasa Kyou, Tsuga Kazuhiro and Akagawa Yasumasa, A proposed index for residual periodontal ligament support., The International Journal of Prosthodontics, 23, 査読有, 2010, pp472-474.
3. 阿部泰彦, 田地 豪, 日浅 恭, 岡崎洋平, 石田秀幸, 櫻井裕也, 津賀一弘, 赤川安正,

Residual periodontal ligament index (RPLI) を用いた残存歯咬合支持能力の数値化, 広島大学歯学会雑誌, 42, 査読有, 2010, pp1-8.

4. 日浅 恭, 阿部泰彦, 田地 豪, 林 和彦, 宮本泰成, 岡崎洋平, 櫻井裕也, 久保隆靖, 津賀一弘, 赤川安正, インターナルジョイント型インプラントを用いた短期臨床予後, 広島大学歯学会雑誌, 42, 査読有, 2010, pp9-15.

[学会発表] (計3件)

1. 林 和彦, 日浅 恭, 阿部泰彦, 久保隆靖, 赤川安正, インターナルジョイント型インプラントを用いた臨床予後, 第30回日本口腔インプラント学会中国・四国支部総会学術大会, 2010年11月13日, 松江市.
2. 野上敬介, 阿部泰彦, 水町 亘, 田地 豪, 日浅 恭, 岡崎洋平, 石田秀幸, 津賀一弘, 赤川安正, 新しい残存歯咬合支持能力指数の開発 —ブリッジの支台歯選択への応用—, 第49回広島県歯科医学会・第94回広島大学歯学会, 2010年10月23日, 広島市.
3. 阿部泰彦, 田地豪, 日浅 恭, 岡崎洋平, 津賀一弘, 赤川安正, Residual Periodontal Ligament Index の考案, 第119回日本補綴歯科学会学術大会, 2010年6月12日, 東京都.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日浅 恭 (HIASA KYOU)

広島大学・病院・助教

研究者番号: 60304432

(2) 研究分担者

阿部 泰彦 (ABE YASUHIKO)

広島大学・病院・講師

研究者番号: 00253097

久保 隆靖 (KUBO TAKAYASU)

広島大学・病院・講師

研究者番号: 60240876

(3) 連携研究者

林 和彦 (HAYASHI KAZUHIKO)

広島大学・大学院歯薬学総合研究科

研究者番号: 90444687