

依 頼 論 文

◆総説：オーバーロードとインプラント治療の偶発症

オーバーロードとインプラント治療の偶発症

松崎達哉^a, 松下恭之^b, 古谷野 潔^a

Overload and complication of dental implant treatment

Tatsuya Matsuzaki, DDS, PhD^a, Yasuyuki Matsushita, DDS, PhD^b and Kiyoshi Koyano, DDS, PhD^a

抄 録

インプラント治療は、表面性状の改善や埋入プロトコルの確立に伴い予知性が高い治療となってきたが、一方で破折や骨吸収などの偶発症も報告されている。これらについては様々な要因が報告されているが、機能負荷が開始されてからのオーバーロードを主な原因とするという文献が散見される。

そこで、オーバーロードと偶発症について文献レビューを行い、偶発症をもたらす様々なリスクファクターについて整理し、考えられる対策について考察した。本論文で整理したリスクファクターを有する患者へのインプラント治療に際しては、インプラント体の埋入以前から綿密なシミュレーション、補綴設計の工夫を行う必要がある。

和文キーワード

オーバーロード, メカニカルリスクファクター, バイオロジカルリスクファクター, インプラント咬合, インプラント偶発症

I. 緒 言

インプラント体がオッセオインテグレーションを獲得し、プロビジョナルレストレーションによる咬合付与がなされると力による問題が発生する場合がある。Espositoらはとりわけ過重負担（オーバーロード）が機能負荷開始後初期のインプラント体の脱落に深く関係していると報告している^{1,2)}。

また機能負荷開始から数年が経過した症例においても、インプラント周囲炎にオーバーロードが関連することが、インプラント体の脱落の要因となっているとした報告もなされている³⁾。

現在、インプラント治療の偶発症については臨床研究ならびに *in vitro* 実験, *in vivo* 実験, さらにコンピュータによるシミュレーションなど、多岐に渡る研究報告がなされている。しかしながらその結果に一貫性は乏しく、オーバーロードによる偶発症に明確な

エビデンスが得られたとは言い難い。そこで本論文では現在までに報告されたインプラント咬合によるオーバーロードが原因と考えられているインプラント偶発症についてその臨床的意義を再考する。

II. オーバーロード（過重負担）

オーバーロードとは補綴学的あるいは生物学的な許容範囲を超えた力により偶発症をもたらす力のことであり個々の条件の違いによるため、明確な定義をするのは難しい。

すなわち、咬合力の付与（ローディング）により上部構造からスクリューなどのインプラントコンポーネント、インプラント体へと力が伝わり、インプラント周囲の骨にも内部応力を発生させる。このような内部応力は「力 (N: ニュートン)」と区別して、「ストレス (MPa: メガパスカル)」と呼ばれる。内部応力がそれぞれの材料の機械的強度（引張強さ、剪断強さ、

^a九州大学大学院歯学研究院口腔機能修復学講座インプラント・義歯補綴学分野

^b九州大学大学院歯学研究院口腔機能修復学講座口腔生体機能工学分野

^a Kyushu University Faculty of Dental Science Division of Oral Rehabilitation Section of Implant and Rehabilitative Dentistry

^b Kyushu University Faculty of Dental Science Division of Oral Rehabilitation Section of Oral Reconstructive Biotechnology

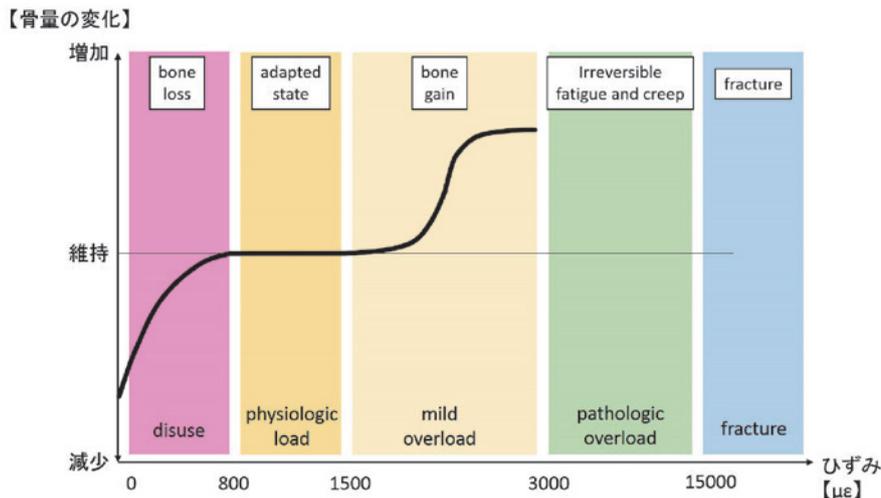


図1 メカノスタットセオリー

疲労強度など)を上回るとそれに応じた変形や破壊が引き起こされる。

現在の文献では偶発症が起こったという結果をもって、その時付与されていた力が「オーバーロード」であったという後付け論が多い。しかし、その「力」が直接的に偶発症を引き起こしたわけではなく、その「力」が原因となって内部に発生した「応力(ストレス)」が作用して偶発症が起こったというのが事実である。すなわち、外力たる咬合力そのものが大きい場合だけでなく、外力は許容される通常の咬合力であってもインプラント本数の不足やカンチレバーなどの修飾因子により力学的影響が増幅されたものも存在するということである。内部に発生するストレス量を比較することで、原因となる因子を特定することが可能となる。

一方、生物学的観点から見ると、咬合力は上部構造、インプラント体を通して骨に応力として働き、結果として骨の微小な変形を引き起こす。この微小な変形は「ひずみ」と表現され、体積比で0.1%の変形(圧縮または引張)が起こることを $1,000\mu\epsilon$ (マイクロストレイン)と表記する。ひずみの大きさは骨に加わる応力や骨の持つ固有の弾性率に関連しているため、同じ力が加わった場合でも皮質骨と海綿骨ではその硬さや弾性の違いによって異なる大きさのひずみが生じることとなる。例えば、上下顎それぞれにインプラント治療を行い咬合した場合には、より硬い下顎骨の方のひずみが小さく、上顎骨の方がより歪んでいるということになる(ただし、上部構造の連結などの条件で変わる可能性はある)。

Frostはメカノスタットセオリー(2004)⁴⁾の中で、ひずみの大きさを骨の応答によって4つに分別

している。すなわち、(i)骨吸収が起こる disuse atrophy window ($50\sim 100\mu\epsilon$)、(ii)骨が安定している steady state window ($100\sim 1,500\mu\epsilon$)、(iii)骨量増大が起こる mild overload window ($1,500\sim 3,000\mu\epsilon$)、(iv)骨の微小破壊(骨吸収)が起こる fatigue failure window ($>3,000\mu\epsilon$)としている(図1)。もしも骨の応答がこのような理論的に分類できるとすれば、fatigue failure windowのような骨ひずみをもたらす応力が負荷された場合にそれをオーバーロードと定義することができる⁵⁾。

しかし、メカニカルストレスに対する骨の応答については、単に骨にかかる応力やひずみの大きさだけでなく、力を与える頻度やその持続時間、力と力を与える間隔や力の性質(動的応力と静的応力)など様々な要因が関連すると考えられている。

インプラント体-骨の界面におけるリモデリング代謝は複雑で、オーバーロードとインプラント体の脱落との関連については未だ検証が続けられている段階である。Naertら⁵⁾はオーバーロードに関するシステマティックレビューの中で、オーバーロードの定義は極めて重要なことであり、様々な解釈があることを念頭において論文を読む必要があることを指摘している。また、Frostのfatigue failure windowに相当するものが必ずしもオーバーロードを意味するわけではないことも示唆している。

III. オーバーロードによる偶発症

ここではオーバーロードによる偶発症について詳細に見ていく。オーバーロードによる偶発症は機械的偶

表1 機械的偶発症の発生頻度 (Papaspyridakos ら)

偶発症の種類	発生頻度(5年)	発生頻度(10年)
スクリューの緩み	10.4%	20.8%
スクリューの破折	9.3%	18.5%
前装材料のチップングや破折	33.3%	66.6%
アクセスホール封鎖材の喪失	22.9%	45.8%
対合の可撤性義歯の破折	8.5%	16.9%

表2 スクリューの緩みが生じる原因

- ①締結力不足
- ②初期ゆるみ
- ③曲げモーメントの繰り返し荷重
- ④スクリューの強度不足
- ⑤連結上部構造の不適合

発症と生物学的偶発症に大別される。

Goodacre ら (1999)⁶⁾ はスクリューの緩みや破折、前装材料の破折、インプラント体の破折、フレームワークの破折などを機械的偶発症として報告した。スクリューの緩みの原因としては、スクリューの軸への垂直力や側方力などの直接荷重が挙げられる。Binon ら (1996)⁷⁾ はインプラントコンポーネントに対してオーバーロードが加わると、コンポーネント間に微小動揺やスクリューの回転が惹起され、その結果スクリューの緩みが発生することを模型実験で確認した。また Goodacre ら (1999)⁶⁾ はレビュー論文の中でフレームワークの不適合がスクリューの緩みを増大させることを報告した。

オーバーロードがインプラント周囲骨の吸収の原因の一つであるとする臨床的報告は Adell ら (1981)⁸⁾ を始めとして多数認められる³⁾。これらの報告では、観察結果からインプラント周囲骨への応力集中により同部での骨吸収が起こるとしている。しかし Lang ら (2000)⁹⁾ は辺縁骨の吸収は感染などの合併症に関連して起こるものであり、オーバーロードとインプラント周囲骨吸収の因果関係については十分なエビデンスはないとしている。Quirynen ら (1992)¹⁰⁾ はオーバーロードにより骨吸収が生じ、ポケットが深化して嫌気性の環境となり、そこに増殖した細菌による感染が生じてインプラント周囲骨の吸収が起こるとしている。このためインプラント周囲骨の吸収がオーバーロードにより生じたのか、感染により生じたのかを鑑別することは難しいと推察している。

1. 機械的偶発症

オーバーロードによる機械的偶発症について頻度の高い各項目について解説する。

1) スクリューの緩みおよび破折

Papaspyridakos ら (2012)¹¹⁾ はインプラントの偶発症に関するシステマティックレビューを行い、最も多いインプラントに関連する機械的偶発症はスクリューの緩みであると報告した。その発生頻度は5年

で10.4%、10年で20.8%とされている。次に多いのはスクリューの破折で、その発生頻度は5年で9.3%、10年で18.5%であった(表1)。

スクリューが緩む原因として①締結力不足、②初期ゆるみ、③曲げモーメントの繰り返し荷重、④スクリューの強度不足、⑤連結上部構造の不適合などが挙げられる。スクリューの破折の原因としては過剰締結力の負荷や過大応力の発生など多くの状況要因が考えられる(表2)。

単独インプラントではスクリューの緩みが多くみられ、Jemt ら (2008)¹²⁾ によると15年の観察期間中で全補綴装置の約40%で少なくとも1回はスクリューの緩みを認めたと報告している。インプラントとアバットメントはスクリューによって締結され、そのスクリューの締め付けによって生じるプレロード(予張力)により一体化している。そこにオーバーロードが加わるとプレロードの低下が起こり、スクリューの緩みへとつながる。スクリューの緩みの原因としては①スクリューの回転によらないもの、②スクリューの回転によるものに大別できる。スクリューの回転によらないものの例として「初期ゆるみ」が知られている。これはスクリュー接触面の微細な凸凹が塑性変形しプレロードが低下するものであり、所定のトルクで増し締めすることで以降の緩みを防ぐことができる。スクリューの回転によるものとしては、垂直荷重や側方荷重などがスクリューに直接荷重として作用することでスクリューが徐々に回転し、緩むとされている。

連結機構の種類によってもスクリューの緩みの発生頻度は異なると報告されている。Gracis ら (2012)¹³⁾ のシステマティックレビューでは、チタン製あるいは金合金製のアバットメントにおいて、3年間の観察におけるスクリューの緩みの累積発生率は内部連結機構(インターナルジョイント)で1.5%、外部連結機構(エクスターナルジョイント)で7.5%と報告されている。年間のスクリューの緩みは外部連結機構が内部連結機構に比べて5.1倍多く発生しており連結機構の違いによって有意差を認めた。スクリューの金属材料の違い

表3 生物学的偶発症についての動物実験

著者名 (年)	実験動物	荷重様式	骨吸収の有無	免荷期間	負荷期間	インプラントの種類
Hoshaw et al.(1994)	イヌ脛骨	過高咬合, 側方荷重	あり	12 m	6 w, 12 w	ブローネマルク
Isidor(1996)	サル下顎骨	10~300 N 330 N/s, 500回, 5日間	あり	6 m	4~15 m	Astra
Miyata et al.(2000)	サル下顎骨	過高咬合	あり	3.5 m	4 w	IMZ
Duyck et al.(2001)	ラット脛骨	動的荷重, 静的荷重 2,520 回 /Hz	あり(動的荷重) なし(静的荷重)	6 w	2 w	ブローネマルク
Gotfredsen et al.(2001)	イヌ下顎骨	静的荷重	なし	3 m	24 w	ITI
Kozlovsky et al.(2007)	イヌ下顎骨	過高咬合	あり	3 m	3 m, 6 m, 9 m, 12 m	Hi-Tec Implant
Esaki et al.(2012)	イヌ下顎骨	動的荷重, 即時荷重	あり	なし	3 w	ブローネマルク
Heitz-Mayfield et al.(2004)	イヌ下顎骨	過高咬合	なし	6 m	8 m	ITI

による差は認められなかった。この結果は外部連結機構のスクリューは内部連結機構のスクリューに比べて力を受けやすいことに起因していると考えられる¹⁴⁾。

2) 上部構造の破損, 前装材料のチッピング

Papaspriidakos らのシステマティックレビューでは、上部構造に関連する偶発症で最も多いのは前装材料(レジン, セラミック)のチッピングや破折で、その発生頻度は5年で33.3%, 10年で66.6%であると報告されている。次いで多い偶発症はアクセスホールを封鎖する材料の喪失で、その発生頻度は5年で22.9%, 10年で45.8%であった¹¹⁾(表1)。

Jung ら(2012)¹⁵⁾のシステマティックレビューでは、陶材焼付製造冠とオールセラミッククラウンによる上部構造の材料の違いにより破折頻度の有意差は認められなかった。また、上部構造をスクリュー固定性にした場合、アクセスホールが存在することにより上部構造には構造上、陶材の薄い部位が生じ、脆弱性があることが予想できる。Torrado ら(2004)¹⁶⁾は固定様式による陶材の破折強度を実験的に計測した結果、スクリュー固定の方が破折しやすくと結論づけている。一方でZarone ら(2007)¹⁷⁾は同様の実験を行い固定様式による差はなかったとしている。

3) 対合への影響

インプラントの対合に装着された可撤性義歯の破折も偶発症として報告されている。発生頻度は5年で8.5%, 10年で16.9%と報告されている¹¹⁾(表1)。

Janyavula ら(2013)¹⁸⁾はインプラント上部構造の咬合面にジルコニア, 陶材, 金属を用いた場合の対合のエナメル質の摩耗に関して in vitro での摩耗試験を行っている。ジルコニア冠は対合のエナメル質を著しく摩耗させるイメージがあるが、実際には十分に研磨したジルコニアよりもグレーズしたジルコニアの方が

対合の摩耗量は大きいという結果が得られ、さらにグレーズした陶材に比べれば摩耗量は少ないと報告した。対合の摩耗については咬合接触する部位を研磨することであまり大きな問題とはならないと結論づけている。

4) インプラント体やフレームワークの破折

インプラント体やフレームワークの破折は少なく、その発生頻度は5年で4.9%, 10年で9.8%と報告されている¹¹⁾(表1)。またその他の偶発症として上部構造にブリッジを装着していたインプラントの脱落により本数が不足し、オーバーデンチャーへの改変を余儀なくされる場合もある。

2. 生物学的偶発症

ここではオーバーロードによる生物学的偶発症について解説する(表3)。

Isidor(1996)¹⁹⁾はサルの下顎骨にインプラント体を埋入し、十分にオッセオインテグレーションが得られたインプラント体に対して過高な上部構造を付与しオーバーロードを負荷したところ、荷重負荷開始から4.5~15.5カ月でインテグレーションの喪失が起こったと報告した。しかしオーバーロードを負荷せず人為的にプラークを付着させた場合には、インプラント周囲の辺縁歯肉に炎症は起こったものの、インプラント体の脱落には至らなかったと報告しており、オーバーロードがオッセオインテグレーションの喪失に深く関与していることを示唆している。

Hoshaw ら(1994)²⁰⁾はイヌへインプラント体を埋入し荷重負荷を行った。20頭のイヌの脛骨にインプラント体を埋入し1年間の治癒期間を経て10Nから300Nまでの軸方向への引張荷重を5日間330N/sで500回繰り返し負荷したところ、負荷しない群よりも

インプラント周囲の骨が有意に吸収したと報告した。

Miyata ら (2000)²¹⁾ はサルの下顎骨にインプラント体を埋入し、14 週の治癒期間の後、過高な上部構造を付与し 4 週にわたって咬合力を负荷した。180 μm 以上の過高な咬合を付与した場合にはインプラント周囲に骨吸収が認められたが、100 μm の過高な咬合では骨吸収は認められなかったため、インプラント周囲骨が傷害される閾値を 180 μm と推定している。

Duyck ら (2001)²²⁾ はウサギの脛骨にインプラント体を埋入し 6 週の治癒期間を待った後、14 日間にわたり 2 種類の荷重を负荷した。静的荷重群では骨吸収が認められなかったのに対し、動的荷重群では骨吸収が認められたと報告している。

Gotfredsen ら (2001)²³⁾ はイヌにインプラント体を埋入し 12 週の治癒期間を待った後、0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm インプラント体間の距離を広げる方向の静的荷重が 24 週负荷されたが、骨吸収はコントロール群も含め全ての群において認められなかった。骨接触率は荷重负荷群がコントロール群と比較して高くなった。この結果から静的荷重では骨吸収は惹起されないと報告している。これらの結果から荷重の负荷様式によっても骨の応答が異なることが示唆された。

Kozlovsky ら (2007)²⁴⁾ はイヌの下顎骨にインプラント体を埋入し、3 カ月の治癒期間を待った後アバットメントを装着し、対合に過高な上部構造を装着したオーバーロード群と低い上部構造を装着した非荷重群とに分けた。さらにそれぞれに対し片側にフロスを巻きつけてプラークを停滞させるようにした炎症群、反対側には週に 3 回フロスによる清掃を行った非炎症群とした。つまり実験群は過高補綴装置+炎症群、過高補綴装置+非炎症群、非荷重+炎症群、非荷重+非炎症群と 4 つに分けられた。12 カ月後、フロスで清掃を行った非炎症群では骨レベルにほとんど変化はなかった。過高補綴装置群では有意に骨接触率が増加しており、骨頂の吸収がわずかに増加した。炎症群では有意に骨吸収を認め、骨レベルはインプラントスレッド部にまで及んだ。この結果からインプラント体周囲に炎症がある場合、プラークが関連してオーバーロード（動的荷重）によりさらなる骨吸収を引き起こす可能性が示唆された。

Esaki ら (2012)²⁵⁾ はイヌにインプラント体を埋入し、埋入当日より荷重负荷装置による規格化された即時荷重を行った。0 N, 10 N, 50 N の荷重负荷群において、10 N 群では有意な骨量の増加を認め、50 N 群では有意な骨量の減少を認めた。このことから、即時荷重早期における荷重は、ある値では骨量増加に寄与する一

方、大きすぎるとインプラント体のオッセオインテグレーションを阻害することから、オーバーロードには一定の閾値が存在することを示唆した。

Heitz-Mayfield ら (2004)²⁶⁾ はラブラドル犬の下顎臼歯部にインプラント体を埋入し 6 カ月の治癒期間の後少なくとも 3 mm 過高な上部構造を装着した。8 カ月後観察したところコントロール群と比較してオーバーロード群では骨吸収に有意差はなかったとした。

以上のようにオーバーロードが骨吸収に与える影響については様々な報告があるものの、実験環境や荷重条件の違いがあるため定性的な考察に留まっており、定量的な解明はなされていない。しかし、これらの研究を総合すると、一定の大きさ以上の動的な力が加わることで骨のリモデリングに影響を及ぼしている可能性は否定出来ないため、臨床においてもなるべく骨に過大な応力が生じないように工夫する必要があることが示唆される。

IV. オーバーロードの修飾因子

前項ではオーバーロードによる機械的・生物学的偶発症について解説した。ここでは、その原因となるオーバーロードを引き起こす可能性がある因子について述べる。

1. ブラキシズム

Yi ら (2015)²⁷⁾ のブラキシズムとインプラントの偶発症の関連についてのシステマティックレビューでは、ブラキシズムがインプラントの機械的・生物学的偶発症を引き起こす関連因子になると報告している。すなわち、ブラキシズムがあると、非ブラキシズムの患者と比較して有意にセラミックやポーセレン等の前装材料のチッピングや破折、その他の機械的偶発症の頻度が増加すると報告している。また、ブラキシズムとインプラント体の脱落の間にも有意な相関関係があると結論づけている。

Lobbezoo ら (2014)²⁸⁾ のシステマティックレビューでも 21 論文中 14 の論文でブラキシズムと生物学的偶発症との関連が示唆されており、7 の論文でブラキシズムと機械的偶発症との関連が示唆されていると報告されている。

Diraçoğlu ら (2011)²⁹⁾ は、前歯部における最大咬合力がブラキシズム群の 105.1 ± 34.2 N に対し、非ブラキシズム群では 81.3 ± 31.0 N で、ブラキサーは非ブラキサーに比べて咬合力が有意に大きいと報告した。一方で第一大臼歯部ではさらに大きな最大咬合力

と長い持続時間のブラキシズムの発生が観察されている^{30,31)}。よってオーバーロードはブラキシズムが起こることによって容易に発生すると考えられる。

インプラント体周囲の自己受容体や閉口筋の自己受容フィードバックメカニズムは、インプラント体周囲に歯根膜がないため制限されていると考えられている³²⁾。そのためブラキサーでは咀嚼時にインプラント体や上部構造へのオーバーロードが発生する可能性がある。これによってポーセレンのチッピングやスクリュウの緩み、スクリュウやインプラント体の破折などを引き起こすことが示唆される。さらに骨のリモデリングと吸収のバランスが崩れ、これが最終的には生物学的偶発症を引き起こすと考えられている³³⁾。

その一方でブラキシズムとインプラント体の脱落には関連がないとする報告もある。Tawilら(2006)³⁴⁾はショートインプラントを用いて53カ月の観察を行った結果、ブラキシズムはインプラント体周囲の骨吸収への影響と有意な相関を認めなかった。またブラキサーと非ブラキサーとの間に偶発症の有意差はなかった。さらにブラキシズムによってインプラント体や上部構造のオーバーロードがもたらされるわけではないという報告もある。ブラキシズムが影響しているというよりは咬合面の形態の不良による咬合干渉や他の咬合増強因子がインプラント体の脱落に重要な役割を果たすという考えもある^{33,35)}。

以上のように、ブラキシズムとオーバーロードに関しては様々な報告があるが、臨床的な注意点として以下のことが挙げられる。

まずブラキシズムの診断を慎重に行い、ブラキシズムのタイプ(日中・夜間)とブラキシズムの程度を評価する。ブラキシズムがある場合には、治療計画立案に際して、オーバーロードの影響を軽減するために、適切な位置により多くのインプラント体を配置することを考慮する。また、直径が大きく長さの長いインプラント体を用いることで、インプラント体と骨の接触する面積を増加させてインプラント体周囲骨に加わる応力を軽減することができる³⁶⁾。

また、インプラント上部構造を注意深くデザインする必要がある。咬頭嵌合位では機能咬頭は咬合接触させるが咬頭斜面は接触させず、側方運動時の咬合干渉がないようにする事が重要である³⁷⁾。またカンチレバーの長さや上部構造の大きさは可及的に小さくし、チッピングを考慮し、できれば咬合面は金属で作製する³⁸⁾。もちろん適切なメンテナンスも重要である。もしも日中のブラキシズムがある場合には、自分でコントロールするように指導する必要がある。夜間のブラキ

シズムがある場合にはナイトガードを使用させることによってインプラント偶発症の発生が減る可能性がある³⁹⁾。インプラント治療においてブラキシズムにも注意を向ける必要がある。またこの分野の臨床研究はまだ少ないため、さらなる研究が行われることも必要と考えられる。

2. カンチレバー

カンチレバーの上部構造が最も批判されるのは、カンチレバーの延長部分に最も近いインプラント体で、特に非軸方向の荷重が付与されることでオーバーロードのリスクが高くなると考えられるためである。このような非軸方向の荷重は、インプラントコンポーネントに大きな曲げモーメントを加え、スクリュウの緩みを誘発したり、インプラント体の破折のリスクを大きくするなど、偶発症を起こしうる因子を多大に含んでいる。

Pjeturssonら(2004)⁴⁰⁾はシステムティックレビューにおいて、天然歯ではカンチレバーを有する補綴装置の5年生存率は他の補綴装置と比較して有意に低いと報告した。一方、カンチレバーを有する補綴装置をインプラント治療に用いた場合のインプラントの成功率や生存率の報告の多くはカンチレバーでない天然歯の補綴装置と同様の成績を示すと報告されている。しかし観察期間が5年以上になると機械的・生物学的偶発症が起る確率が高くなるとの報告もある⁴¹⁾。

RomeoとStorelli(2012)⁴²⁾はカンチレバーのインプラント支持固定性上部構造についてシステムティックレビューを行い、最終的に6つの論文をレビューしているが、カンチレバーを有する上部構造が装着されたインプラント体の5年生存率は98.9%、上部構造の5年生存率は97.1%と報告している。生物学的偶発症としてはインプラント周囲炎が最も高頻度に見られ^{43,44)}、5年後に5.7%で発症を認めた。機械的偶発症としてはインプラント体の破折が全ての研究で報告された。ナロータイプのインプラント体⁴³⁾やシリンダータイプのインプラント体⁴⁵⁾が関係していた。発生頻度は0.7%であった。この結果からカンチレバーそのものが破折の原因になるとは考えにくい。しかしインプラント体の直径や配置する部位、パラファンクションを考慮する必要はあると示唆している。スクリュウやアバットメントの破折の頻度は1.6%で、前装材料の破折は10.1%と機械的偶発症の中で最も多かった。セメントの喪失は5.9%、スクリュウの緩みは7.9%で発生していたが、これらはカンチレバーでないものと差はなかった。骨レベルの変化としてはRomeo⁴⁴⁾の報

告でのみ骨吸収を認めたが、全体ではカンチレバーの有無で有意差はなかった。今回取り込まれた6つの論文においては、カンチレバー部の咬合付与については明確な記載がされていなかった。咬合接触の付与について定義されたプロトコルがあればチッピングなどの機械的偶発症を減らす一助となるであろう。このシステムティックレビューでは機械的・生物学的偶発症はカンチレバーにより増加しないと結論づけている。

3. 歯冠／インプラント比

近年骨造成を行うことなくショートインプラントを用いてインプラント治療を行うことができるようになった⁴⁶⁾。しかし通常の長さのインプラント体を用いた場合と比較して、ショートインプラントを用いた場合には歯冠／インプラント比が大きくなる。一般的に解剖学的歯冠／インプラント比はインプラント体のショルダー部の高さを境界とし、臨床的歯冠／インプラント比は骨頂の高さを境界として考えられる⁴⁷⁾。臨床的歯冠／インプラント比が実際の生体力学を考えると重要になると考えられるが、多くの論文では解剖学的歯冠／インプラント比について解析しているのが現状である。

歯冠／インプラント比が大きくなると、歯冠部への咬合力により曲げモーメントが生じてインプラントコンポーネントや周囲骨へ応力が生じ、この応力によって機械的偶発症や骨吸収が起こることが示唆されている⁴⁸⁾。そして骨吸収を回避するためには、歯冠／インプラント比は0.5～1が良いとの考え方がある⁴⁹⁾。Garaicoa-Pazminoら(2014)⁴⁷⁾によるシステムティックレビューでは、歯冠／インプラント比と骨吸収量との間には有意な相関があったと報告している。またNissanら(2012)⁵⁰⁾は模型実験を行い、非軸方向の荷重を負荷した場合には歯冠／インプラント比が増加するに伴い頬舌側のひずみが増加すると報告した。また歯冠の高さが大きくなるとスクリュウの破折を認めている。よって歯冠の高さが大きい場合には、上部構造を連結しても機械的偶発症は起こりうるとしている。

一方で歯冠／インプラント比はインプラント体の脱落のリスクファクターではないという意見もある。Tawilら(2006)³⁴⁾は歯冠／インプラント比やカンチレバー、咬合面形態と骨吸収について相関はなかったとした。同様にBirdiら(2010)⁵¹⁾は後ろ向きコホート研究で309本のインプラント体について調査し、歯冠／インプラント比と骨吸収の相関はないと報告した。Okadaら(2013)⁵²⁾は歯冠／インプラント比が大きい場合に骨のリモデリングが亢進するが、骨吸収量

は歯冠／インプラント比が小さいものと大差がなかったと報告した。

V. 結 論

オーバーロードとは補綴学的あるいは生物学的な許容範囲を超えた力により偶発症をもたらす力のことである。同じ荷重であっても、個々の条件によって偶発症を招く場合も招かない場合もあるため、具体的な値として明確に定義をするのは難しい。

今回、オーバーロードによって起こりえるとされている偶発症について文献的考察を行ったが、そのいずれにもオーバーロードが関与している可能性が示唆された。したがって、そのような偶発症が起こらない状態を作り出すためには、「インプラントコンポーネント、上部構造、骨—インプラント界面、インプラント周囲骨に生じる応力を生物学的または補綴学的に許容されるものにし、インプラントと上部構造の長期安定を得る」ために個々に応じた埋入プラン、そして咬合面の形態や前装材料の選択といった補綴設計を注意深く行う必要がある。

その際、オーバーロードを引き起こす様々な修飾因子のうち1つのファクターの存在で問題が起こらなかったとしても複数のファクターが重なり重大な偶発症を引き起こすことも考えられる。それらのファクターの中には歯科医師が適切に処置を行うことでコントロール出来るものとコントロールが出来ないものが存在する。また、コントロールできるものの中にも簡単に解決出来るものと解決が難しいものが存在する。こうしたことを理解した上で、1口腔単位でリスクとなりうる因子について総合的な判断を行い、仮にすべてのリスクファクターを取り除くことが困難であったとしても、少しでもリスクを減らすよう努力することが重要である。

文 献

- 1) Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (I). Success criteria and epidemiology. *Eur J Oral Sci* 1998; 106(1): 527-551.
- 2) Chiapasco M. Early and immediate restoration and loading of implants in completely edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19 Suppl: 76-91.
- 3) Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (II). Etiopathogenesis. *Eur J*

- Oral Sci 1998; 106(3): 721-764.
- 4) Frost HM. A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *The Angle orthodontist* 2004; 74(1): 3-15.
 - 5) Naert I, Duyck J, Vandamme K. Occlusal overload and bone/implant loss. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23 Suppl 6: 95-107.
 - 6) Goodacre CJ, Kan JY, Rungcharassaeng K. Clinical complications of osseointegrated implants. *J Prosthet Dent* 1999; 81(5): 537-552.
 - 7) Binon PP, McHugh MJ. The effect of eliminating implant/abutment rotational misfit on screw joint stability. *Int J Prosthodont* 1996; 9(6): 511-519.
 - 8) Adell R, Lekholm U, Rockler B, Branemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *International journal of oral surgery* 1981; 10(6): 387-416.
 - 9) Lang NP, Wilson TG, Corbet EF. Biological complications with dental implants: their prevention, diagnosis and treatment. *Clin Oral Implants Res* 2000; 11 Suppl 1: 146-155.
 - 10) Quirynen M, Naert I, van Steenberghe D. Fixture design and overload influence marginal bone loss and fixture success in the Branemark system. *Clin Oral Implants Res* 1992; 3(3): 104-111.
 - 11) Papaspyridakos P, Chen CJ, Chuang SK, Weber HP, Gallucci GO. A systematic review of biologic and technical complications with fixed implant rehabilitations for edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27(1): 102-110.
 - 12) Jemt T. Single implants in the anterior maxilla after 15 years of follow-up: comparison with central implants in the edentulous maxilla. *Int J Prosthodont* 2008; 21(5): 400-408.
 - 13) Gracis S, Michalakis K, Vigolo P, Vult von Steyern P, Zwahlen M, Sailer I. Internal vs. external connections for abutments/reconstructions: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23 Suppl 6: 202-216.
 - 14) Tsouknidas A, Lympoudi E, Michalakis K, Giannopoulos D, Michailidis N, Pissiotis A et al. Influence of Alveolar Bone Loss and Different Alloys on the Biomechanical Behavior of Internal-and External-Connection Implants: A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2015; 30(3): e30-42.
 - 15) Jung RE, Zembic A, Pjetursson BE, Zwahlen M, Thoma DS. Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23 Suppl 6: 2-21.
 - 16) Torrado E, Ercoli C, Al Mardini M, Graser GN, Tallents RH, Cordaro L. A comparison of the porcelain fracture resistance of screw-retained and cement-retained implant-supported metal-ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 2004; 91(6): 532-537.
 - 17) Zarone F, Sorrentino R, Traini T, Di Iorio D, Caputi S. Fracture resistance of implant-supported screw-versus cement-retained porcelain fused to metal single crowns: SEM fractographic analysis. *Dent Mater* 2007; 23(3): 296-301.
 - 18) Janyavula S, Lawson N, Cakir D, Beck P, Ramp LC, Burgess JO. The wear of polished and glazed zirconia against enamel. *J Prosthet Dent* 2013; 109(1): 22-29.
 - 19) Isidor F. Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants. A clinical and radiographic study in monkeys. *Clin Oral Implants Res* 1996; 7(2): 143-152.
 - 20) Hoshaw SJ, Brunski JB, Cochran GVB. Mechanical loading of Brånemark implants affects interfacial bone modeling and remodeling. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1994; 9: 345-360.
 - 21) Miyata T, Kobayashi Y, Araki H, Ohto T, Shin K. The influence of controlled occlusal overload on peri-implant tissue. Part 3: A histologic study in monkeys. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000; 15(3): 425-431.
 - 22) Duyck J, Ronold HJ, Van Oosterwyck H, Naert I, Vander Sloten J, Ellingsen JE. The influence of static and dynamic loading on marginal bone reactions around osseointegrated implants: an animal experimental study. *Clin Oral Implants Res* 2001; 12(3): 207-218.
 - 23) Gotfredsen K, Berglundh T, Lindhe J. Bone reactions adjacent to titanium implants subjected to static load. A study in the dog (I). *Clin Oral Implants Res* 2001; 12(1): 1-8.
 - 24) Kozlovsky A, Tal H, Laufer BZ, Leshem R, Rohrer MD, Weinreb M et al. Impact of implant overloading on the peri-implant bone in inflamed and non-inflamed peri-implant mucosa. *Clin Oral Implants Res* 2007; 18(5): 601-610.
 - 25) Esaki D, Matsushita Y, Ayukawa Y, Sakai N, Sawae Y, Koyano K. Relationship between magnitude of immediate loading and peri-implant osteogenesis in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23(11): 1290-1296.
 - 26) Heitz-Mayfield LJ, Schmid B, Weigel C, Gerber S, Bosshardt DD, Jonsson J et al. Does excessive occlusal load affect osseointegration? An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15(3): 259-268.
 - 27) Zhou Y, Gao J, Luo L, Wang Y. Does Bruxism Contribute to Dental Implant Failure? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015.

- 28) Manfredini D, Poggio CE, Lobbezoo F. Is bruxism a risk factor for dental implants? A systematic review of the literature. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014; 16(3): 460-469.
- 29) Diracoglu D, Alptekin K, Cifter ED, Guclu B, Karan A, Aksoy C. Relationship between maximal bite force and tooth wear in bruxist and non-bruxist individuals. *Archives of oral biology* 2011; 56(12): 1569-1575.
- 30) Nishigawa K, Bando E, Nakano M. Quantitative study of bite force during sleep associated bruxism. *J Oral Rehabil* 2001; 28(5): 485-491.
- 31) Lantada AD, Bris CG, Morgado PL, Maudes JS. Novel system for bite-force sensing and monitoring based on magnetic near field communication. *Sensors* 2012; 12(9): 11544-11558.
- 32) Lobbezoo F, Brouwers JE, Cune MS, Naeije M. Dental implants in patients with bruxing habits. *J Oral Rehabil* 2006; 33(2): 152-159.
- 33) Rangert B, Krogh PH, Langer B, Van Roekel N. Bending overload and implant fracture: a retrospective clinical analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995; 10(3): 326-334.
- 34) Tawil G, Aboujaoude N, Younan R. Influence of prosthetic parameters on the survival and complication rates of short implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006; 21(2): 275-282.
- 35) Johansson A, Omar R, Carlsson GE. Bruxism and prosthetic treatment: a critical review. *J Prosthodont Res* 2011; 55(3): 127-136.
- 36) Lobbezoo F, Brouwers JE, Cune MS, Naeije M. [Dental implants in tooth grinders]. *Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde* 2004; 111(3): 85-90.
- 37) McCoy G. American Academy of Implant Dentistry meetings. *J Oral Implantol* 2013; 39(3): 406.
- 38) Misch CE. The effect of bruxism on treatment planning for dental implants. *Dentistry today* 2002; 21(9): 76-81.
- 39) Sarmiento HR, Dantas RV, Pereira-Cenci T, Faot F. Elements of implant-supported rehabilitation planning in patients with bruxism. *J Craniofac Surg* 2012; 23(6): 1905-1909.
- 40) Pjetursson BE, Tan K, Lang NP, Bragger U, Egger M, Zwahlen M. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15(6): 625-642.
- 41) Zurdo J, Romao C, Wennstrom JL. Survival and complication rates of implant-supported fixed partial dentures with cantilevers: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20 Suppl 4: 59-66.
- 42) Romeo E, Storelli S. Systematic review of the survival rate and the biological, technical, and aesthetic complications of fixed dental prostheses with cantilevers on implants reported in longitudinal studies with a mean of 5 years follow-up. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23 Suppl 6 :39-49.
- 43) Halg GA, Schmid J, Hammerle CH. Bone level changes at implants supporting crowns or fixed partial dentures with or without cantilevers. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19(10): 983-990.
- 44) Romeo E, Tomasi C, Finini I, Casentini P, Lops D. Implant-supported fixed cantilever prosthesis in partially edentulous jaws: a cohort prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20(11): 1278-1285.
- 45) Bragger U, Karoussis I, Persson R, Pjetursson B, Salvi G, Lang N. Technical and biological complications/failures with single crowns and fixed partial dentures on implants: a 10-year prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res* 2005; 16(3): 326-334.
- 46) Atieh MA, Zadeh H, Stanford CM, Cooper LF. Survival of short dental implants for treatment of posterior partial edentulism: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27(6): 1323-1331.
- 47) Garaicoa-Pazmino C, Suarez-Lopez del Amo F, Monje A, Catena A, Ortega-Oller I, Galindo-Moreno P et al. Influence of crown/implant ratio on marginal bone loss: a systematic review. *J Periodontol* 2014; 85(9): 1214-1221.
- 48) Rieger MR, Mayberry M, Brose MO. Finite element analysis of six endosseous implants. *J Prosthet Dent* 1990; 63(6): 671-676.
- 49) Glantz PO, Nilner K. Biomechanical aspects of prosthetic implant-borne reconstructions. *Periodontology* 2000. 1998; 17: 119-124.
- 50) Nissan J, Gross O, Ghelfan O, Priel I, Gross M, Chaushu G. The effect of splinting implant-supported restorations on stress distribution of different crown-implant ratios and crown height spaces. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; 69(12): 2990-2994.
- 51) Birdi H, Schulte J, Kovacs A, Weed M, Chuang SK. Crown-to-implant ratios of short-length implants. *J Oral Implantol* 2010; 36(6): 425-433.
- 52) Okada S, Koretake K, Miyamoto Y, Oue H, Akagawa Y. Increased crown-to-implant ratio may not be a risk factor for dental implant failure under appropriate plaque control. *PLoS One* 2013; 8(5): e63992.

著者連絡先：古谷野 潔
〒812-8582 福岡市東区馬出3-1-1 九州
大学大学院歯学研究院口腔機能修復学講座
インプラント・義歯補綴学分野
Tel: 092-642-6376
Fax: 092-642-6380
E-mail: koyano@dent.kyushu-u.ac.jp