

Influence of denture tooth thickness on fracture mode of thin acrylic resin bases:  
An experimental and finite element analysis  
*For Journal of Prosthetic Dentistry*

厚みが制限されたレジン床義歯における人工歯の厚みが破折様式に及ぼす影響  
- 実験的解析ならびに有限要素解析 -  
関西崇史, 犬飼周佑, 村上奈津子, 若林 則幸

### 要旨

顎間距離が低下した症例で義歯の破折が起こりやすいことはよく知られている。本研究の目的は顎間距離が低下した条件で、人工歯の材料と厚さの違いが義歯床レジンの破折強度に及ぼす影響を明らかにすることである。厚さ 2.0mm の床用レジンにレジン臼歯（以下, AC）、硬質レジン臼歯（以下, CO）、または陶歯（以下, CE）を埋入した試料（長さ 20mm、幅 12mm）を製作した。人工歯の厚さは、AC と CO は中心窩から基底面までの長さを 0.5、1.0、2.0、2.5mm のいずれか、CE は 1.0mm になるよう基底面を削合した。一方、全ての試料は中心窩から床底面までの長さが 2.5mm で一定になるように製作し、義歯床の顎堤への適合の良否を想定した支点間距離 8mm または 12mm の条件下で三点曲げ試験に供した（n=7）。破折様式を顕微鏡下で観察し、最大荷重量を記録した。荷重量は、支点間距離 8mm の AC、CO 試料、支点間距離 12mm の人工歯厚さ 0.5-2.0mm における AC で、厚さの違いによる影響はみられなかった。支点間距離 12mm の CO では人工歯の厚みが増すごとに最大荷重量は低下した。支点間距離が 8mm では CO が AC より高い最大荷重量を示した。支点間距離が 12mm のとき、人工歯の厚さが 2.0mm と 2.5mm の AC、CO の一部で人工歯を含まない床のみの破折が認められ、人工歯を含む破折を示した試料より有意に低い最大荷重量を示した。CE は完全に破折する前の比較的小さな荷重で人工歯の亀裂が起こった。本実験結果より、CO は総じて AC より高い破折抵抗を示すものの、義歯床の適合が低下した場合 CO 底面と義歯床底面の距離が薄いほど破折抵抗が低下することが明らかになった。

### 〈緒言〉

部分床義歯は装着後の義歯床の破折が大きな問題と認識されている。義歯の破折強度を向上させることは義歯の安全や長期の使用を可能にし、患者満足度を高める。義歯破折が起こりやすい原因の一つに顎間距離の減少が考えられる。咬耗や対合歯の挺出により顎間距離は低下し、義歯への応力集中が起こす。強い咬合力に耐えうる機械的強度や設計の最適化が必要とされている。レジン床の破折強度に関する研究はこれまで補強線を使うことによる補強効果や新しいレジン材料の評価についての材料学的な研究がほとんどであった。つまり、限られた補綴空隙において義歯を設計するときの指標になるべき、人工歯材料の選択方法や、人工歯のレジン床への適切な埋入位置は明らかになっていない。本研究の目的は、減少した顎間距離の中で義歯床に埋入された人工歯の材料と厚さの違いがレジン床の破折強度に及ぼす影響を明らかにすることである。実験に加え、人工歯とレジンブロックをモデ

ルとした応力解析を併用し、レジン内部に起こる破折に至るメカニズムを検討した。

### 〈方法〉

荷重試験のために人工歯と義歯床を想定したレジンプロックからなる試料を製作した。人工歯はレジン臼歯（ウェアレス臼歯，AC），硬質レジン臼歯（サーパス臼歯，CO），陶歯（エース臼歯，CE）を使用した。AC と CO は咬合面中心窩から基底面の長さがそれぞれ 0.5mm，1.0mm，2.0mm，2.5mm のいずれかとなるように基底面を削合した。CE は 1.0mm のもの 1 種類を用意した。また，長さ 20mm，幅 12mm，厚さ 2.0mm のワックスブロックを用意し，人工歯を頬舌方向が長さ方向に平行になり，中心窩がその中央に位置するように埋入した。各条件とも咬合面中心窩からブロック底面までの距離は 2.5mm で一定とした。そのワックス部を加熱重合型義歯床用レジン（アクロン）に置換した。レジン重合を行う前の人工歯基底面とブロック底面は耐水研磨紙#600 で湿式研磨し，平坦に仕上げた。試料は各条件についてそれぞれ 7 個ずつ製作し，37℃の水中に 24 時間浸漬後，各試料の人工歯咬合面の中心溝が支点間の中央となるようオートグラフ（AGS-H）上に設置し三点曲げ試験を行った。クロスヘッドスピードは 5.0mm/min とし，各試験片が完全に破折したのが確認されるまで荷重を付与した。AC と CO は支点間距離 8mm と 12mm の 2 条件で測定し，CE については 12mm のみとした。計測データより，各試料の最大荷重量を記録した。試験後のすべての破折片を観察し，破折様式を分類した。代表的な試料について，光学顕微鏡もしくは走査型電子顕微鏡で破断面の観察を行った。さらに，レジンプロック内に加わる応力分布を予測するため，支点間距離 12mm の CO（厚さ 1.0mm または 2.0mm）について，荷重試験と同様の形態の有限要素モデルを製作し，人工歯側面とレジンプロックの界面の接着が完全である場合と剥離した場合を想定した応力解析を行った。有限要素モデルに入力する人工歯とレジンプロックの弾性率は，ナノインデンテーション試験により計測した。各試料の最大荷重量の平均値および標準偏差を算出し，各群の違いについて一元配置の分散分析を行った後，等分散が得られなかった 8mm の CO は Tamhane の多重比較，その他の試料は Tukey の多重比較を行った。また，支点間距離が同じ，AC と CO 間の比較は二元配置分散分析を行った（有意水準  $P=0.05$ ）。

### 〈結果〉

全ての破折様式はその破断面の観察から，人工歯を含んで破折が起きた様式「人工歯を含む破折」と人工歯を含まずレジン床だけ破折した様式「境界部破折」に分類できた。さらに，「人工歯を含む破折」は破折方向が，床底面から人工歯咬合面まで垂直な「垂直破折」と人工歯辺縁直下から人工歯咬合面まで斜めに割れる「斜め破折」の 2 つの破折様式に分類できた。支点間距離 8mm では，全ての条件で「垂直破折」が確認できた。支点間距離 12mm では，AC と CO の人工歯厚さ 2.0mm と 2.5mm の試料の一部で「境界部破折」が認められた。また，人工歯厚さの小さい AC はすべて「垂直破折」であった一方，CO の多くは破折様式「斜め破折」が認められた。CE は人工歯がレジンプロックから剥がれた後粉々になった。

各条件下で，「人工歯を含む破折」は「境界部破折」に比べ大きな最大荷重量を示した。

支点間距離 8mm の試料は、AC、CO とともに各厚さ間で有意差は認められなかったが、CO は AC より有意に高い最大荷重量を示した。支点間距離 12mm の AC は人工歯厚さ 0.5mm、1.0mm、2.0mm 間に有意な差は認められなかったが、2.5mm のとき 7 試料全てで「境界部破折」が認められ、他の厚さの試料と比較し有意に最大荷重量が低下した。支点間距離 12mm の CO では、CO の厚さが増すとともに最大荷重量は有意に減少した。また、AC と CO 間で最大荷重量に有意な差は認められなかった。支点間距離 12mm で人工歯の厚さが 1.0mm の各試料を比較すると、CE は AC や CO と比較して有意に高い最大荷重量を示した。

有限要素解析では、人工歯厚さが 1.0mm のモデルでは接着のあるなしにかかわらず床底面の支点間の広い範囲に応力の分布が見られた。また、人工歯厚さ 2.0mm でも接着ありのモデルでは同様であったのに対し、厚さ 2.0mm の接触モデルでは人工歯の側面直下と支点付近に応力が集中し、その最大値は他のモデルよりも明確に大きかった。

#### 〈考察〉

支点間距離が人工歯の頬舌径よりも短い 8mm の条件は、同部の義歯床と顎堤が密着して適合が良好な場合、長い 12mm の条件は直下の義歯床が顎堤と密着していない場合を想定したものである。支点間距離 8mm の AC、CO は、試料の破断面から、始めに試料底面の中央部に亀裂が入り、亀裂が人工歯咬合面に垂直に伸展していることが明らかであった。応力が支点間の人工歯のみにかかることから、最大荷重量は人工歯の機械的強度を忠実に反映したと推察できる。CO のエナメル層は AC よりも硬度が高いため、CO の曲げ強度が向上したと考えられる。一方で、CO のデンチン層と AC とレジンプロックは強度が近似していたため、厚さが変化しても最大荷重量に影響がなかったと考えられる。

支点間距離 12mm で、「境界部破折」の試料は AC、CO とともに、それ以外と比較して最大荷重量が低かった理由は、「境界部破折」の試料は人工歯側面から破折が開始され、このレジンプロックとの界面の接合強度がレジンプロックや人工歯の強度よりも低いためと考えられる。人工歯の厚さが増すにつれ、人工歯側面とレジンプロックの界面の面積が増えたため AC、CO とともに界面の破折が増したと考えられる。また、同じ人工歯厚さ 2.0mm で「垂直破折」が起こった AC と CO 試料を、走査型電子顕微鏡を用いて比較すると、AC だけ人工歯とレジンプロックとの界面での剥離が認められることから、AC は CO より「境界部破折」が起こりやすかったと考えられる。

支点間距離 12mm で、「人工歯を含む破折」を示した AC と CO 試料を比較すると、CO 試料のみ、その多くで「斜め破折」を認めた。「斜め破折」が起こる場合、まず人工歯側面の下端でエナメル層とレジンプロックが剥離し、次に同部直下のレジンプロックからクラックが生じ、そのクラックが人工歯咬合面の中央部に向かって伸展したとの仮説を立てることができる。有限要素解析の結果はこの仮説を強く裏付けるものであった。

陶歯は、同じ厚さのレジ歯や硬質レジ歯と比較して有意に高い最大荷重量を示した

ため、症例によっては第一選択となるが、試料が破折する前に陶歯がレジンプロックからはがれているかもしれない点、および陶歯が天然歯の最大咬合力に近似した比較的低い荷重で咬合面がチッピングを起こしていることが示された。従って、顎堤間距離が小さい症例に対してレジン床義歯を製作する際に、陶歯は硬質レジン歯とは異なる問題を生じる可能性が明らかであり、必ずしも有意性はないことが示唆された。

#### **〈結論〉**

義歯を排列するための顎間距離が十分でない想定した試料を用いた力学試験と応力解析を行った結果、人工歯の幅径より短い支点間距離下では、CO が AC よりも高い破折抵抗を示し、人工歯の幅径よりも長い支点間距離下では CO の底面と義歯床の底面との距離が減少して床用レジンが薄くなるほど破折抵抗が低下することが明らかになった。