

主論文の要旨

Interindividual anatomical variations affect the plate-to-bone fit during osteosynthesis of distal radius fractures

〔 橈骨遠位端骨折の骨接合において解剖学的形状の個体差は
プレートと骨の適合性に影響を及ぼす 〕

名古屋大学大学院医学系研究科 機能構築医学専攻
運動・形態外科学講座 手の外科学分野

(指導：平田 仁 教授)

米田 英正

【はじめに】

近年橈骨遠位端骨折の手術件数は増加し、それとともに術後合併症の件数も多く報告されてきた。中でも長母指屈筋腱障害が多く報告されているが、それは固定後にプレートに接するように長母指屈筋腱が走行するため、腱滑走時にプレートの突出部で摩擦が生じて腱がすり切れやすくなるためと推察されている。Soongらは側面像でのCritical lineを超えたプレートの掌側突出は屈筋腱断裂の危険因子であるとした。

このプレートの突出はインプラントの構造上の問題ではなく、骨折の整復不良やプレートの設置位置の誤りなど technical error に起因すると考えられていた。しかし整復を解剖学的に行い、軟骨下骨支持できる理想的な位置に設置してもプレートが掌側突出することは少なくない。その原因として我々は teardrop と呼ばれる骨形状に着目した。teardrop は橈骨最遠位部尺掌側の骨隆起で手関節の荷重通過部位であるため、そこにあわせてプレートは設置される。我々は teardrop の形態には個体差があり、その形状個体差がプレート設置時に骨との適合性に影響を与え、適合性が悪いとプレートの掌側突出の原因となると仮説をたてた。本研究ではまず第1に teardrop の形状個体差について調査した。続いて形態の異なるプレートを形態の異なる骨に設置した場合、その設置がどの程度変化するか、3D-CADの技術を用いた plate-to-bone fit 解析を行い、骨・プレート間の適合性についての検討を行った。

【対象と方法】

① teardrop の形態解析

teardrop の形態を調査するために、我々は当教室で開発した手関節機能撮影台を用いて撮影された過去5年間分のレントゲン写真を利用した。回旋の影響を除外するため舟状骨結節前縁の接線と豆状骨前縁の接線の距離(pisoscaphoid distance 以下 PSD)が3mm以上のものは除外し男女100人ずつ、合計200人分を解析した。手関節側面レントゲン写真では図1aに示すように掌側皮質は2つの曲線で追跡することができる。このうち teardrop を通過する尺側は2つの変曲点(図のA,B)を有することから抽出が可能である。抽出した尺側骨皮質を図1bにシェーマで示す。2つの変曲点のうち近位の変曲点を点A、皮質の立ち上がりの基部を点Eとし、点Dを変曲点とした。幾何学的に点Dでの接線は線分AEに平行となることで点Dは規定される。線分ADとDEの外角を teardrop inclination angle (以下 TIA)とした。TIAが大きいほど尺側皮質の傾斜が急になる。TIAの分布、性差、年齢との関係、級内相関係数 ICC(2,1)について調査した。

② plate-to-bone fit 解析

TIAが異なる骨の形状とプレート設置との関係性をみる plate-to-bone fit 解析を行った。Biomet社製 distal volar radius plate(以下 DVR®), Synthes社製 2.4 mm LCP volar column distal radius plate (以下 VCP), Acumed社製 Acu-loc, Acu-loc2の4枚のプレートを3Dスキャナで取り込み、surface modelを作成した。スクリーン

方向も同様に取り込み，スクリューは同径の円柱で再現した。骨は CT 画像から surface model を作成し，3D-CAD ソフトウェア上で実際のプレート設置を想定した骨とプレートのモデルの重ね合わせを行った（図 2）。その際に 2 つの条件設定を行った。プレート長軸と橈骨骨軸は冠状面で一致させるという条件と，軟骨下骨支持を得られる軟骨下骨の直下にスクリューが接するという条件を設定した。プレートの surface model は骨との接触面が約 5 万の mesh により構成されており，骨とプレートの距離 plate bone distance（以下 PBD）をすべての接触面上の mesh について算出した。4 枚のプレートと 3 つの骨の組み合わせ合計 12 通りについて計測を行った。

【結果】

① teardrop の形態解析

TIA の平均値は 28.7° で，正規分布し変動係数は 25% で個体差を認めた（表 1）。また性差をみると男性が女性より高値であった。級内相関係数 ICC(2,1) は 0.79 と検者間誤差は中等度であった。年齢との相関をみると男性では年齢が高くなるとともに TIA が大きくなる傾向がみられたが，女性では年齢との相関は認めなかった。

② plate-to-bone fit 解析

TIA が正規分布し，teardrop の骨形態に個体差があることが判明したので，続いて plate-to-bone fit 解析に用いる代表的な骨を選択した。TIA の第 1，3 四分位数をもとに下位 1/4，中央 1/2，上位 1/4 の群から，各群の中央に位置する骨をそれぞれ 1 つずつ選択し surface model を作成した。TIA の角度は 17.4° ， 29.8° ， 41.9° で，傾斜の弱いものから順に bone G，I，S とした（図 3）。

PBD の分布を図 4 に箱ひげ図，図 5 にカラーマップとして示す。どの組み合わせにおいても接触は限局的であった。DVR® では bone G で PBD の小さい部位が多く，bone S で PBD の大きい部位が多く認められた。Acu-loc も同様の分布であったが，特に bone G と I において長母指屈筋腱が通過する部位でプレートの浮きが大きくなった。Acu-loc2 では Acu-loc でみられた bone G と I での長母指屈筋通過部位の浮き上がりは減少していた。一方 VCP では前 3 枚のプレートとは分布が異なり，bone G と I においてプレートの遠位で PBD が増加し，bone S にて PBD が小さくなる傾向がみられた。以上より DVR®，Acu-loc，Acu-loc2 と Bone G，I との間では形態が近似し，VCP は Bone S にプレートの形状が近く両者の適合がよいことが判明した。各プレートと TIA の異なる骨との間の適合性に基づく相性について表 2 にまとめた。

【考察】

ロッキングプレートは角度安定性を有するためプレートの骨への密着は不要であるとされてきたが，橈骨遠位部では critical line を超えるプレートの突出は屈筋腱損傷の原因となりうるため，骨形状に近似したプレートの利用が望ましい。

今回の調査では teardrop の形状に個体差があり，プレートを形状の異なる骨に設

置すると、PBDの分布は差が生じた。すなわち **Teardrop** の形態差によりプレートの適合性は大きく影響を受けることが確認された。尺側皮質の傾斜が小さい骨に **DVR®**, **Acu-loc**, **Acu-loc2** が近似し、傾斜が大きい骨に **VCP** が近似するという骨・プレート間の適合の相性を認めた。後者については **VCP** の曲げ角度が 25° とやや大きいことが影響している可能性はある。

骨形状とプレート形状が解離している場合、適合性を得る方法として形態に応じてプレートを曲げるプレートベンディングが考えられるが、ロック機構損傷の可能性やスクリューの関節内突出の危険がある。プレートには骨の幅や長さの選択枝に加えて、曲げ角度の選択枝の追加や曲げ加工を可能としたプレートの開発が望ましい。

本研究の **limitation** として、手関節レントゲンの撮影時に回旋の影響を完全に除外できていないこと、解析に用いた骨の選択に **selection bias** が含まれることがあげられる。

【結論】

橈骨遠位端骨折用プレートを利用した手術では、**teardrop** の形状個体差による骨・プレート間の適合不良が生じる可能性がある。骨と形態の異なるプレートの利用した場合、適合不良によるプレート突出を生じ、それは術後屈筋腱障害のリスクとなる。曲げ角度の選択枝のあるプレート、もしくは曲げ加工の可能なプレートが利用可能となれば、適合不良の発生は最小限となり合併症のリスクの低減が期待される。