

内 容 要 旨 目 次

主 論 文

An Analysis of the Characteristics and Improved Use of Newly Developed CT- based Navigation System in Total Hip Arthroplasty

(人工股関節全置換術における新規開発CTベースナビゲーションシステムの特徴と精度向上への検討)

藤井洋佑、藤原一夫、鉄永智紀、三宅孝昌、山田和希、遠藤裕介、阿部信寛、杉田直彦、光石 衛、井上貴之、中島義雄、尾崎敏文

Acta Medica Okayama (掲載予定)

平成 27 年 9 月 第 28 回 International Society for Technology in Arthroplasty に発表

主 論 文

An Analysis of the Characteristics and Improved Use of Newly Developed CT- based Navigation System in Total Hip Arthroplasty

(人工股関節全置換術における新規開発CTベースナビゲーションシステムの特徴と精度向上への検討)

【緒言】

人工股関節全置換術において寛骨臼コンポーネントの設置位置改善目的に様々な種類のナビゲーションシステムが開発され用いられてきた。正確なインプラント設置は、脱臼などの早期合併症の低下のみならず、摺動面における摩耗量の低下といった中長期的な成績も向上する。ナビゲーションを用いたインプラントの設置精度の報告は散見されるが、ナビゲーションシステムの内部構造やプログラミングは開発企業の秘密であり、決められた方法を用いての使用と術後の精度評価のみ可能であった。我々は独自に膝関節用ナビゲーションシステムを開発し現在臨床使用している。今回それを股関節用にカスタマイズした。術前CT画像と術中の骨形状を重ね合わせるCTベースのナビゲーションシステムである。重ね合わせの方法としてはまず骨表面の特徴点数点を用いてCT画像と実際の骨表面との初期あわせ込みを行った後に、骨表面を数十点参照し二段階のあわせ込みを行うサーフェスマッチング法を用いている。重ねあわせの精度は概ね良好なものの、誤差を認めコンポーネントの設置角度に影響を及ぼす症例も存在する。参照点をとる寛骨臼周囲の形状は立体的であり、この形状がサーフェスマッチング精度に影響を及ぼす可能性があると考え検討を行った。本研究の目的は寛骨臼周囲の参照点の場所における修正能力の特徴、また参照点数・骨盤形状による影響について検討し、その特徴からより効果的なナビゲーションシステムの使用方法を探求するものである。

【対象と方法】

股関節変形の程度によるナビゲーションの精度の差を検討するために Crowe 分類に応じて骨盤を選択し、術前のCT画像を用いて3Dプリンターで骨盤骨のモデルを再構築した (Crowe1、2および4)。サーフェスマッチングの参照点の場所として寛骨臼周囲を4つのエリアに分類した。寛骨臼上方、後方、後上方、恥骨である。参照点数は上方と後方が各20点、後上方が10点、恥骨が3点である。エリアは手術進入法によりグループ化し寛骨臼上方、もしくは上方と後上方エリアをゾーンA、後方もしくは後方と後上方をゾーンBと設定した。座標系としては骨盤の外側方向をX軸、前方をY軸、近位方向をZ軸とした。また回転軸として各軸まわりの回転軸をそれぞれ設定した。骨盤を基準位置から各軸毎に-10mmから10mmまで2mm毎に、また各回転軸方向にも同様に-10度から10度まで2度ごとに移動させた。その上でそれぞれのゾーンで10、15、20、30点を用いてサーフェスマッチングを行い、基準位置にどこまで近づけるかを測定した。また骨盤骨の形状 (Crowe1、2、4) による比較と修正に影響

を及ぼす点について評価を行った。なお、骨盤モデル作成の元となったのは、2014年2月から2014年の6月までにTHAを施行した3症例6股関節からのCTデータであり、全員女性で平均年齢は69歳であった。

【結果】

ゾーンAに参照点をとった場合、X軸方向への移動では参照点数に関わらず良好に収束していた。Y軸方向では基準位置からの移動距離が小さい場合や、また参照点の数を増やしても修正値は収束しなかった。Z軸方向でも同様に修正は困難であった。回転X軸方向は移動角度の量や参照点数に関わらず小さい範囲に収束させることが可能であった。回転Y軸方向は比較的良好に修正できており、移動角度が6から4mmの範囲で良好に収束していた。回転Z軸方向では移動距離が小さくても修正は難しかった。ゾーンBに参照点を取った場合、X軸方向への移動ではゾーンAと比較しやや困難であった。Y軸方向において修正は比較的良好であった。Z軸方向において参照点の増加による修正値の収束はわずかであり、また移動距離がわずかでも修正は困難であった。回転X軸方向は誤差角度の量や参照点数に関わらず誤差を小さい範囲に収束させることが可能であった。回転Y軸方向については誤差角度が段階的にふえるにつれて修正値の上昇を認めたが数値的には小さいものであった。回転Z軸方向は修正困難であった。

基準位置から2mm/2°以下への収束を許容内とした際に、基準位置からの移動距離/角度が8mm/8°以上ではいずれの場合においても困難と考えられた。そのため次に移動距離/角度が6mm/6°以下において収束値が2mm/2°以下を満たすための必要点数を検討した。ゾーンAにおいてX軸方向への移動では30点程度、Y、Z軸方向は30点でも6mmの移動距離は2mm以下への収束は困難であった。回転X軸方向はポイント数、誤差の距離に関わらず少ない点数でも修正は良好であった。回転Y軸方向では4°の移動角度を2°以下に収束するのに30点必要で回転Z軸方向では30点が必要であった。ゾーンBではX軸方向では2mm以下への収束を目標とすると6mm以下の移動距離では20点程度が必要であり、Y軸方向ではゾーンAに比べてY軸方向への修正は困難ではなく、15点の参照点で6mmの移動距離を2mmに収束することが可能であった。Z軸方向では4mmの移動距離であれば2mm以下への収束は比較的容易であった。回転X軸方向は6°の移動角度でも15点で2°以下への収束が可能であった。回転Y軸方向では誤差修正は容易であった。回転Z軸方向では移動角度が6°では修正は困難であった。

骨盤形状の影響としてはゾーンAにおけるY軸方向への移動距離においてCrowe1と2に有意差が認められた。Z軸方向では骨盤形状による有意差は認めなかった。一方でCrowe4型では他の形状と比べ修正が良好に行われる傾向を認めた。ゾーンBのX軸方向では骨盤形状毎の有意差は認めなかったがCrowe1型で他の形状と比較し改善しやすい傾向が認められた。一方、Z軸方向ではCrowe1型は修正しにくい傾向を認めた。回転Z軸方向でもCrowe1は修正しにくい傾向を認めた。

【考察】

ゾーンAでは特にY軸、Z軸、回転Z方向への誤差修正が困難であった。6mmの誤差がある場合は参照点として30点を使用してもゾーンAでは2mm以下に収束することが困難である。収束値を2mm以下にするためにはサーフェスマッチングを行う前に4mm以下に誤差を減らしておいて、尚且つ20点以上、できれば30点の参照点を使用すべきであると考えられた。ゾーンBではX軸、Y軸、回転Z軸方向への誤差修正が困難であった。しかしゾーンAに比べて修正能は良好であった。サーフェスマ

ッチングを行う前に $4\text{mm}/4^\circ$ 以下に誤差を減らした場合、 $2\text{mm}/2^\circ$ 以下への修正は 15~20 点で可能となっていた。参照点の場所によって修正が容易な方向と困難な方向が存在し、また修正に必要な参照点数も異なっていた。この原因としては寛骨臼上方の参照点をとる骨の表面形状が X 軸に直行しており、また寛骨臼後方の表面は Y 軸に直交する事に関連しているため、3 次元の再構築が容易に行われるためと考えられた。また回転軸に際しても寛骨臼上方の骨形状、また寛骨臼後方も変形の少ない症例で特に回転方向が同一となるため回転移動に対して表面のサーフェスマッチングでは 3 次元構築が困難となり修正能が低下する要因となると考えられた。また骨盤形状別の検討においても、今回の Crowe2 の骨盤は寛骨臼形成不全であり、寛骨臼上方の形状は凹凸に乏しく非常に平らであった。そのため特に Y 軸方向への修正が困難となったと考えられる。新しい参照点として恥骨を用いた検討も行った。ゾーン A において Y、Z、回転 Z 軸において寛骨臼上方のみ 20 点と上方 17 点と恥骨 3 点をとったグループを比較したところ、Y 軸方向へは上方のみに参照点をとったグループで修正能は優れており、その他では恥骨に参照点をとった方により良い傾向を認めた。やはり恥骨の形状が Y 軸方向には比較的平行なのに対して Z 軸方向には直交する形であり、また回転 Z 軸に対しても比較的交差する位置のためと考えられた。

今回の研究よりサーフェスマッチングによる修正能を向上させるためには移動している方向と異なる平面、曲面の参照点を追加する必要があると考えられる。このためには特徴点を用いた大まかな重ね合わせの際に、一旦位置を確認しずれている方向に併せて効果的な参照点と必要な参照点数を用いることが重要である。しかしその際に修正困難な方向に大きくずれている場合は、立ち返って重ね合わせを再度行うことも必要と考えられた。また起伏に乏しい形状の場合は恥骨や腸骨稜等への参照点が有効な可能性がある。リミテーションとしては症例数が少ないこと、また一方向へ移動させた際の修正能のみを検討している点である。今後は実際の手術中にも使用し、多軸の変位に対する修正能力を検討する必要がある。今回の検討で寛骨臼周囲の参照点の場所によりそれぞれに修正可能な方向や困難な方向が存在しており、また修正に必要な参照点数も異なっていることが明らかとなった。その特性を理解し適切に選択することでより高い手術精度を得ることができ、また手術時間の短縮にも寄与することが可能である。

【結論】

寛骨臼周囲の参照点の場所における修正能力の特徴、また参照点数・骨盤形状による影響について検討した。それぞれの場所がそれぞれ修正可能、または困難な方向を有しており、修正に必要な参照点数も異なっていた。移動方向に対して直交する方向の参照点をとることで修正能が向上すると考えられ、サーフェスマッチングの前に位置を確認し必要と考えられる参照場所を選択することが重要である。