

CAD/CAMで作成された咬合床副子の精度の検証方法について

Evaluation of the accuracy of the surgical splint that was created in CAD/CAM

○田中憲男¹、古谷忠典²

¹Norio TANAKA, ²Tadanori FURUYA

¹プロ矯正歯科, ²ユニ矯正歯科クリニック

¹Pro Orthodontic, ²Uni orthodontic clinic

目的

当院ではコーンビームCTのデータから作製したコンピュータグラフィック(以下 CG)を用いて仮想手術を行っている。そして、骨片を仮想手術で決定した位置に誘導するために、非接触型光学式三次元形状測定装置(以下 模型スキャナ)から得られた歯列模型のデータを利用して光樹脂造形法により手術用咬合床副子(以下 術中、術後位置決定用CAD/CAM splint)を作製し、ダブルスプリント法に準ずる骨片の位置決めを行っている。そのCAD/CAM splintの精度を評価するために、咬合器にマウントした歯列模型を用いて、顎位測定器を用いて精度の検証を行っていたが、咬合器にマウントしなければならず、操作手技に注意も必要であった。そこで今回、咬合器や顎位測定器を使わずに精度を評価する方法を考案し、CAD/CAM splintの精度の検証を行ったので報告する。



●Condyle Position Indicator ●DOバイト ●CAD/CAM Splint ●CPIの計測結果(青点:DOバイト, 赤点:DOスプリント)
図2 Uni Model Surgery System

Padanent咬合器のアクセサリ機器の一つに、咬合採得した顎位の違いを検証するための機器(Condylar Position Indicator, Panadent社)がある。この器具を使うと下顎頭を中心とした回転軸での位置の変化を記録することができるため、顎位の変化を回転運動と平行移動に分けたうえで、下顎頭での位置変化を作成誤差として検討することができる。

資料および方法

顎変形症の患者6名をコーンビームCT(CB MercuRay, 日立メディコ)を用いて0.37mm Boxel Pitchで撮影した。次に模型スキャナ(D-250m, 3Shape)を用いて上下歯列模型の咬合面を含む表面形状と、術前(COバイト)の咬合状態と手術後に目標とされる咬合状態(DOバイト)を記録したワックスバイトを咬ませた状態で上下歯列模型の外面の表面形状をそれぞれ入力した。それらを顎顔面外科シミュレーションソフトウェア(Simplant O&O, デンツプライIH, 以下 ソフトウェア)に入力し、骨格と模型データの重ね合わせを行い仮想手術を行った。そしてCAD/CAM splintをCGで設計した形状データを用いて光樹脂造形法で作製した。次に、精度を検証するために上下歯列模型にCAD/CAM splintを咬ませた状態で模型スキャナをもちいて再び外面の表面形状をスキャンし、上顎歯列部分が設計時の位置と同じ位置になるようにソフトウェアに入力した上で、その下顎歯列部分に一致するように、設計時の模型の下顎歯列模型ならびに下顎骨のCGを移動させ、その位置の差を歯列と下顎頭の部分で定量評価した。

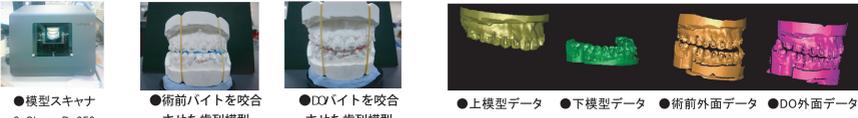
歯列模型位置情報にもとづく仮想手術(SSRO+LeFort I)

まず以下のような手順で仮想手術シミュレーションを行った。この方法の利点として、歯列模型の咬合状態をデータとして取り込みシミュレーションを行うことにより、CGを用いて試行錯誤的に咬合状態を決めるのではなく、実体モデルを使って手指の感覚や自由に目視しながらの作業を行うことが可能となる。また、実体物の位置関係を、仮想空間上のCGによるモデルの位置関係と一致しているため、実体物を直接ノグスなどで計測する代わりに、三次元座標系を用いた位置の差の定量化が可能となり、計測が容易になるとともに精度が向上すると考えられる。

CAD/CAM 手術シミュレーション・ワークフロー (SSRO+LeFort I)

STEP 1. 歯列模型形態の取り込み

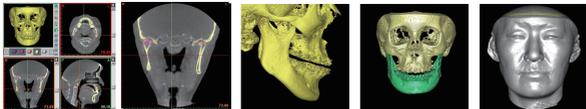
上顎と下顎の歯列模型のそれぞれを単体でスキャンした後に、歯列模型に術前咬合状態のワックスバイト(COバイト)と術後に目標とする咬合状態のワックスバイト(DOバイト)を咬ませて、それぞれの歯列模型の外面をスキャンしてソフトウェアに入力する。



●模型スキャナ 3-Shape D-250 ●術前バイトを咬ませた歯列模型 ●DOバイトを咬ませた歯列模型 ●上模型データ ●下模型データ ●術前外面データ ●DO外面データ

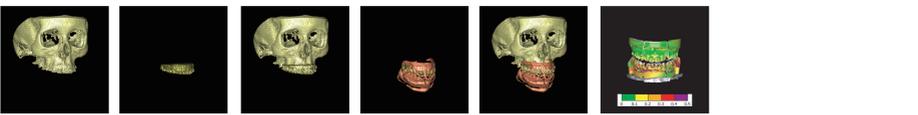
STEP 2. CTデータからの形態抽出

骨の抽出と、下顎頭部分の修正、アーティファクトと歯冠部分の削除、上顎骨を含む頭蓋骨と下顎骨の分離、軟組織の抽出を行う

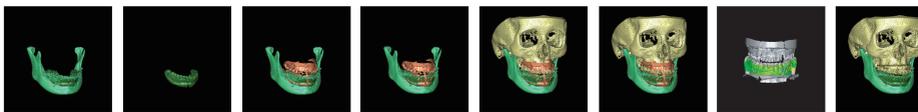


STEP 3. CTデータと模型データの重ね合わせ

①CT画像の上顎歯列部分と一致するように先に、先に入力した上顎歯列模型のCGを移動する。そして上顎歯列模型のCGに外側面データ(CO)の上顎部分が重なるようにデータを移動し、0.05mm単位で一致精度を検証する



②外側面データ(CO)の下顎部分に重なるように、下顎模型データと下顎骨を同時に移動し一致精度を検証後、ホームポジションとして登録する



STEP 4. 上下顎骨の骨離断と、位置の分析をするための計測点の設置

SSROとLeFort Iで骨離断を行い、上顎部分は、頭蓋骨と上顎骨小骨片に、下顎骨は、左下顎枝、右下顎枝、下顎骨体に分離する。そして、上下顎中切歯近心隅角、左右第一大臼歯咬頭、左右下顎頭頂部などをポイントング



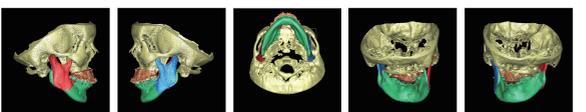
STEP 5. 下顎骨の移動(SSRO)

下顎骨体と下顎歯列模型データを同時に外側面データ(DO)の下顎歯列部分に一致するように移動し、一致精度を検証する



STEP 6. 上下顎骨を複合体として移動(LeFort+SSRO)

①上下歯列模型データと上下顎小骨片を同時に選択し、手術計画に基づいて上顎前歯切線点の位置を自安として前後、上下、左右に平行移動後、そして同点を回転中心として、上下方向のピッチ、カント調整、左右方向のヨーイングを遠位骨片後方の顎角部の骨干渉や隙をさまざまな方向から検討しながら設定する



STEP 7. 口腔外科医と骨離断面の干渉や隙を検証

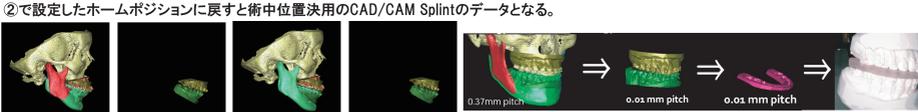
執刀医と骨の移動量や離断面の様相を検討し、上下顎複合体の位置の調整や下顎枝の回転量の調整、骨移植の検討、あるいはDOの再設定を行う

STEP 8. 軟組織シミュレーションを用いた術後に予想される顔貌の検討



STEP 8. CAD/CAM Splintの作成

骨を非表示にする術後位置決定用のCAD/CAM Splintを作成するための上下歯列模型の位置関係となる。また、下顎骨と下顎歯列の位置をSTEP 3-②で設定したホームポジションに戻すと術中位置決定用のCAD/CAM Splintのデータとなる。



術後位置決定用Splintの為のデータ 術中位置決定用Splintの為のデータ CAD/CAM Splintの作成

CAD/CAM Splintの精度検証

次に光樹脂造形法によって作成されたCAD/CAM Splintの精度を検証するために、それを上下歯列模型に適合させた状態で模型スキャナを用いて外側面の形状を取り込み、仮想空間上で設計時の上下歯列模型のCGモデルの位置と比較検討を行った。

今回は、術中位置決定用CAD/CAM Splintを利用して、術前の上顎歯列模型に対して相対的に、Splint装着時の下顎歯列模型の位置と、それに従属する下顎骨の位置の変化を、Splint設計時のそれぞれの位置と对上顎歯列部分と比較した。その位置の差異を下顎歯列上の左右第一大臼歯頰側近心咬頭頂部分ならびに右側中切歯近心隅角部分と、左右下顎頭頂部で算出して、集計した。

CAD/CAM Splint 精度検証・ワークフロー

STEP 9. 術中位置決定用Splintの咬合状態の取り込み

①上顎と下顎の歯列模型を術中位置決定用Splintを咬合させた状態で、外側面をスキャンして、Splint外面データを作成する。



STEP 10. Splint外面データと上顎模型データの重ね合わせ

先のStepで準備した術前の上顎歯列模型の外形状と、Splint外面データの上下部分を一致精度を検証しながら重ね合わせる。



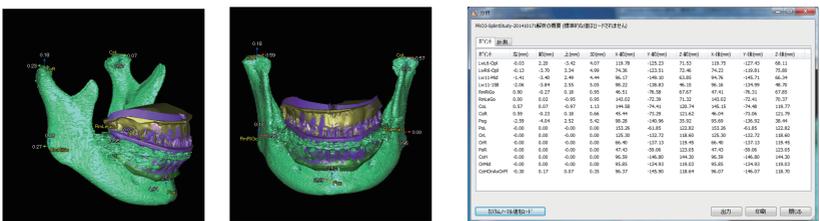
STEP 11. 下顎歯列データならびに下顎骨の重ね合わせ

骨離断前の下顎骨と下顎歯列データを同時に動かし、Splint外面データの下顎歯列部分に重ね合わせる。



STEP 13. 移動量の算出

上記の移動により、すでにポイントングされている下顎骨の計測点の位置が変化するので、その移動量を下顎歯列上の左右第一大臼歯頰側近心咬頭頂部分(LL6,LR6)ならびに右側中切歯近心隅角部分(L1)と、左右下顎頭頂部(CoL,CoR)での移動量をCT撮影時の自然顎位での座標系を用いて算出し、その上下、左右、前後方向の移動量を出力した。



結果

集計は、2つの方法と2つの部位にわけて行った。表1ならびに表2は、各計測点の三次元空間上での移動方向と移動量を示しており、これらをもとにして方向と量の検討を行った。また、表3ならびに表4は、移動量の絶対値で、誤差の量を検討した。

表1ならびに表3は下顎歯列模型上の計測点で、Splintによる位置の差異が歯列模型の咬合面部分や、従属する下顎の離断後小骨片の位置に対してどのように影響するのかを間接的に検討した。また、表2および表4は、下顎骨頭頂部での移動量を示しており、Splintによる位置の差異が顎関節部分では、どのように影響するかを検討した。

NHP基準 (mm)	LR6			L1			LL6		
	左(+)	前(+)	上(+)	左(+)	前(+)	上(+)	左(+)	前(+)	上(+)
Case 1	0.02	0.04	-0.15	-0.04	0.09	-0.22	0.02	0.15	-0.23
Case 2	-0.05	0.01	-0.21	-0.07	0.03	-0.32	-0.04	0.05	-0.43
Case 3	-0.02	0.26	-0.28	0.02	0.18	-0.44	-0.02	0.13	-0.44
Case 4	0.05	-0.12	-0.35	-0.06	-0.09	-0.82	0.06	0.03	-0.71
Case 5	0.07	-0.04	-0.09	-0.15	-0.04	-0.41	0.07	0.08	-0.01
Case 6	-0.09	-0.10	-0.31	-0.03	-0.15	-0.64	-0.09	-0.22	-0.36
最大値	0.07	0.26	-0.09	0.02	0.18	-0.22	0.07	0.15	-0.01
最小値	-0.09	-0.12	-0.35	-0.15	-0.15	-0.82	-0.09	-0.22	-0.71
平均値	-0.01	0.02	-0.24	-0.06	0.01	-0.49	0.00	0.02	-0.36
偏差	0.06	0.13	0.09	0.05	0.11	0.20	0.06	0.12	0.21

表1 咬合面での計測点の動きの方向と移動量

NHP基準 (mm)	CoR			CoL		
	左(+)	前(+)	上(+)	左(+)	前(+)	上(+)
Case 1	0.19	0.01	-0.02	0.20	0.30	-0.21
Case 2	0.25	-0.10	-0.27	0.24	-0.01	-0.60
Case 3	0.04	0.64	0.03	0.02	0.31	-0.29
Case 4	0.61	0.32	0.46	0.63	0.69	-0.43
Case 5	0.49	-0.37	-0.16	0.45	-0.19	-1.02
Case 6	-0.21	0.43	0.37	-0.20	0.21	0.27
最大値	0.61	0.64	0.46	0.63	0.69	0.27
最小値	-0.21	-0.37	-0.27	-0.20	-0.19	-1.02
平均値	0.22	0.15	0.08	0.22	0.23	-0.38
偏差	0.27	0.34	0.26	0.27	0.28	0.39

表2 顎関節部での計測点の動きの方向と移動量

咬合面での計測点の動きの方向と移動量について(表1)、下顎歯列模型は、上下方向では、すべて下方へ移動しており、最大は0.82mm、平均はL1点で0.49mmであった。左右方向では、左方へ最大で0.07mm、右方へ0.15mmでわずかにであった。前後方向では最大で前方へ0.26mm、後方へ0.22mm移動している場合があり、平均値としては、LR6点とLL6点が前方へ0.02mmであった。

顎関節部での変化として(表2)、下顎骨は、上下方向では、上方と下方へ移動している場合があり、最大は上方へ0.46mm、下方へ1.02mmであった。左右方向では、左方へ最大で0.63mm、右方へ0.21mmで、咬合面での移動量より大きくなっていた。前後方向では最大で前方へ0.69mm、後方へ0.37mm移動している場合があり咬合面での移動量より大きく、平均値としては、前方へCoR点で0.15mm、CoL点で0.23mmであった。

NHP基準 (mm)	LR6			L1			LL6		
	左右差	前後差	上下差	左右差	前後差	上下差	左右差	前後差	上下差
Case 1	0.02	0.04	0.15	0.04	0.09	0.22	0.02	0.15	0.23
Case 2	0.05	0.01	0.27	0.07	0.03	0.32	0.04	0.05	0.43
Case 3	0.02	0.26	0.28	0.02	0.18	0.44	0.02	0.13	0.44
Case 4	0.05	0.12	0.35	0.06	0.09	0.82	0.06	0.03	0.71
Case 5	0.07	0.04	0.09	0.15	0.04	0.41	0.07	0.08	0.01
Case 6	0.09	0.10	0.31	0.03	0.15	0.64	0.09	0.22	0.36
最大値	0.09	0.26	0.35	0.15	0.18	0.82	0.09	0.22	0.71
最小値	0.02	0.01	0.09	0.02	0.03	0.22	0.02	0.03	0.01
平均値	0.05	0.11	0.24	0.07	0.10	0.49	0.05	0.11	0.36
偏差	0.03	0.06	0.09	0.04	0.05	0.20	0.03	0.06	0.21

表3 咬合面での計測点の移動変化量

NHP基準 (mm)	CoR			CoL			CoL-CoR		
	左右差	前後差	上下差	左右差	前後差	上下差	左右差	前後差	上下差
Case 1	0.19	0.01	0.02	0.20	0.30	0.21	0.01	0.29	0.19
Case 2	0.25	0.10	0.27	0.24	0.01	0.60	0.01	0.09	0.33
Case 3	0.04	0.64	0.03	0.02	0.31	0.29	0.02	0.33	0.26
Case 4	0.61	0.32	0.46	0.63	0.69	0.43	0.02	0.37	0.03
Case 5	0.49	0.37	0.16	0.45	0.19	1.02	0.04	0.18	0.86
Case 6	0.21	0.43	0.37	0.20	0.21	0.27	0.01	0.22	0.10
最大値	0.61	0.64	0.46	0.63	0.69	1.02	0.04	0.37	0.86
最小値	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.21	0.01	0.09	0.03
平均値	0.21	0.32	0.22	0.20	0.30	0.51	0.02	0.24	0.33
偏差	0.19	0.21	0.16	0.20	0.21	0.28	0.01	0.09	0.27

表4 顎関節部での計測点の移動変化量

計測点の移動量の絶対値としては、咬合面において(表3)、上下差では最大値は0.82mm、平均はL1点で0.49mmであった。左右方向では、最大で0.15mm、平均値は0.05mmないし0.11mmであった。前後差では最大で0.26mmであり平均値は0.10mmないし0.11mmであった。

顎関節部での移動変化量としては(表4)、上下差では、CoRよりCoL点で大きく最大で1.02mm、平均値で0.51mmであった。左右差では、最大で0.61mmないし0.63mm、平均値は0.30mmないし0.31mmで、咬合面での変化より大きくなっていた。前後差では最大で0.64mmないし0.69mm、平均値は0.30ないし0.32mmで咬合面での変化より大きくなっていた。

顎関節の左右側で相対的な移動変化量を検討すると表4 CoL-CoR、左右方向では殆ど差はないが、前後方向では最大で0.37mm、平均値で0.24mm、上下方向では、最大で0.86mm、平均値で0.33mmの相対的な移動変化量があった。

考察

表1、表3より、光造形スプリントでは設計よりも平均約0.5mm、最大で約1mm程度の上下的な誤差が生じることがわかり、Double Splint法で、術中に使用する術中位置決定用Splint(1st splint)として使用した場合は、設計よりも上顎を上方向へ偏位させ、左右方向への偏位はほぼ生じないものの、前後方向には、平均約0.3mm程度の誤差が生じる可能性があると考えられる。

また、これを術後位置決定用Splint(2nd splint)として使用した場合は、設計よりも下顎を下方向へ偏位させる事になるが、左右方向への偏位はほぼ生じないものの、前後方向には、平均約0.3mm程度の誤差が生じる可能性があると考えられる。

表2、表4より、左右顎関節部での変化としては、顎間固定によって、スプリントの誤差が顎関節の偏位となって生じる可能性があり、その量は咬合面での変化とやや異なり、遠位骨片と近位骨片を強固に固定し、術後位置決定用Splintを使用中止した際に下顎頭の骨片が術前の位置に復したと仮定すると、相対的に下方へ平均約0.3mm、最大で約1mm程度、前後方向に平均約0.2mm、最大で約0.4mm程度、変位する可能性がある。術後により大きな顎関節のリモデリングによる生体の適合が必要になると予想される。

しかしながらこれらからの所見は、症例数がまだ少ないため、さらなる検討が必要と考えている。これらの誤差を補償する方法として、適合性の差異を減らすために下顎頭を中心軸とする兆番回転を歯列模型に対してわずかに行ってからCAD/CAM Splintを作成するか、骨片固定法の工夫(セリジット固定法の選択など)や、手術後の顎位設計時のオーバーコレクションを術前の歯列やスプリントに組み込む方法や、TADなどによる確実な術後矯正治療をこれらの差異の値を意識して具体的に戦略的に行う必要性が考えられる。

この方法を用いることで、CAD/CAMで作成されたsplintの精度と誤差を評価することができた。作製したCAD/CAM splintは歯列模型の表面形状と光樹脂造形法によって作られた表面形状の差異等により位置づけの誤差が生じるが、その誤差は部位により臨床的な意味合いが変わると考えられ、作成時に誤差を補償する方法を組み入れるか、治療計画、手術手技、術後矯正治療の中で臨床的にマネージメントの必要性が生じることが明らかになった。

結論

この方法を用いる事により、臨床を考慮した上で、CAD/CAMで作成された咬合床副子の精度の検証が可能となった

本研究に関して、開示すべき利益相反状態はない。