

Clinical Design in Aligner Orthodontics

Beginner Shortcut

まず守るアライナー矯正治療の5原則

数値安全域と中核図だけで全体像をつかむ最短ルート

著者 藤山光治

はじめに

aligner矯正治療 (clear aligner therapy: CAT) は四半世紀の発展を経て、現在では幅広い症例に応用され、日本国内でもCATを希望する成人患者が増加している。

しかしCATは、setup softwareのアルゴリズム任せで成立する治療ではない。マルチブラケット装置 (multi-bracket appliance: MBA) と同様、むしろそれ以上に、術者による治療計画立案、力学的設計、症例評価の能力が問われる。

setup software上では歯がきれいに整列して見えても、anchorage消費、歯軸のtipping、咬合平面の不調和、早期接触、犬歯誘導の不成立、骨格的限界を超えた歯の移動など、画面上では見えにくい問題が潜む。術者はこれらを発見し、アタッチメント設計、staging (ステージ設計: 歯の移動順序と速度の時間設計)、補助装置、refinement (リファインメント: 初回CAT完了後の追加aligner作成による再設計) の前提を組み込んで初めて、digital setupは患者に提供できる治療計画となる。

さらにCATの臨床は「設計→臨床応用→monitoring→補正」という閉じたループによって成立し、設計と治療経過の乖離を継続的に検出して補正する工程が不可欠である。AI remote monitoringは、この時間分解能のギャップを埋める重要な臨床運用手段である。

本書を貫く中心概念は「臨床設計 (Clinical Design)」である。臨床設計とは、setup softwareの仮想シミュレーションを、患者個別の解剖学的条件・生体反応・治療目標・力学的制約のもとで、臨床的に実行可能な治療計画へ変換する術者の体系的判断プロセスを指す。

本書は、CATを体系的に学べる日本語の実践書が十分に整備されていないという問題意識から、若手医師・研修医・一般臨床家がCATを議論できる教科書として構成した。本簡略版は、初学者・研修医向けに核心部分を抽出している。

■ オリジナル版について

本書は **Clinical Design in Aligner Orthodontics, Volume I** の最低限の守ることが望ましい事項のみの簡略版である。初学者向けに核心部のみを抽出した入門書として構成しており、本書で示す各臨床判断は、「本書推奨」と明記された部分を除き、すべてエビデンスによる裏付けがある。

エビデンスの詳細 (システマティックレビュー結果、FEA研究の数値データ、メタアナリシスの効果量、症例別データ、力学解析の根拠など) は、オリジナル版本文に収載されている。オリジナル版は全章で計 **308** 本の参考文献を引用し、Level I (システマティックレビュー・メタアナリシス) から Level V (教科書・専門家意見) まで、エビデンスレベルを各文献ごとに明示している。

より深く学習する場合はオリジナル版の併用を推奨する。本簡略版に「本書推奨」として明示された臨床数

値は、本書執筆陣の臨床経験に基づく実用的安全域である。

本書の構成

- 第1～3章: Clinical Designの背景、CATのbiomechanics、digital setup 9工程
- 第4～9章: staging、臼歯遠心移動、最終顎位予測、IPR、付加装置、AI monitoringによるinitial setupの臨床反映
- 第10～13章: refinement、retention、長期保定への接続、トラブルシューティング(「失敗回避学」としての再構成)

本書の中核命題

命題 I: CATは、*setup software*のアルゴリズム任せで成立する治療ではない。治療をどう設計するかが本質である。

命題 II: 治療の成否は、設計段階の判断で大きく決まる。

命題 III: *refinement*は失敗ではなく、治療を完成に近づけるための再設計である。

この三命題に基づき、CATを装置操作ではなく**Clinical Design**として捉え直す。

Clinical Design = Failure Prevention — この等式が本書の世界観である。

なお、本書はCAT単独治療を絶対視しない。予測実現性が低い移動に対しTAD、sectional wire、短期MBA補正を併用することは、Clinical Design上の正当な判断である。装置選択そのものではなく、患者にとって安全で予測可能な治療結果に責任を持つことが本書の立場である。

本簡略版が特に重視する4つの実践要点

後述の「まず守る5原則(数値)」を支える、設計思想としての4点。

1. セットアップには「順番」がある

digital setupは歯を一斉に並べる作業ではない。下顎前歯→犬歯→臼歯→上顎前歯→咬合平面という決定順序(9工程)と、staging(歯の移動順序と速度)という二つの「順番」で成り立つ。順番を誤ると固定源を浪費し、副作用が連鎖する。

2. 力学を考慮したdigital setupへ変換する

setup software上の仮想完成図をそのまま採用しない。anchorage消費・shell forceの反作用・歯根位置・咬合接触を踏まえ、臨床的に実行可能な力学的設計へ変換する。この変換作業こそがClinical Designの中核である。

3. 日本人・患者単位に適したセットアップにする

数値安全域は欧米平均値の単純転用ではない。日本人を含む東アジア人の歯槽骨幅・歯槽基底形態・軟組織側貌・alveolar housingを考慮した値であり、さらに症例ごとにCBCT評価と生体反応で患者単位に調整する。

4. AI monitoringで的確な指示を出す

週1回の画像解析で設計と治療経過の乖離を早期検出する。検出だけでは不十分で、チューイの使用部位・装着時間・3日延長・GO/NO-GO・refinement要否といった具体的で的確な患者指示へ変換して初めて臨床的価値を持つ。

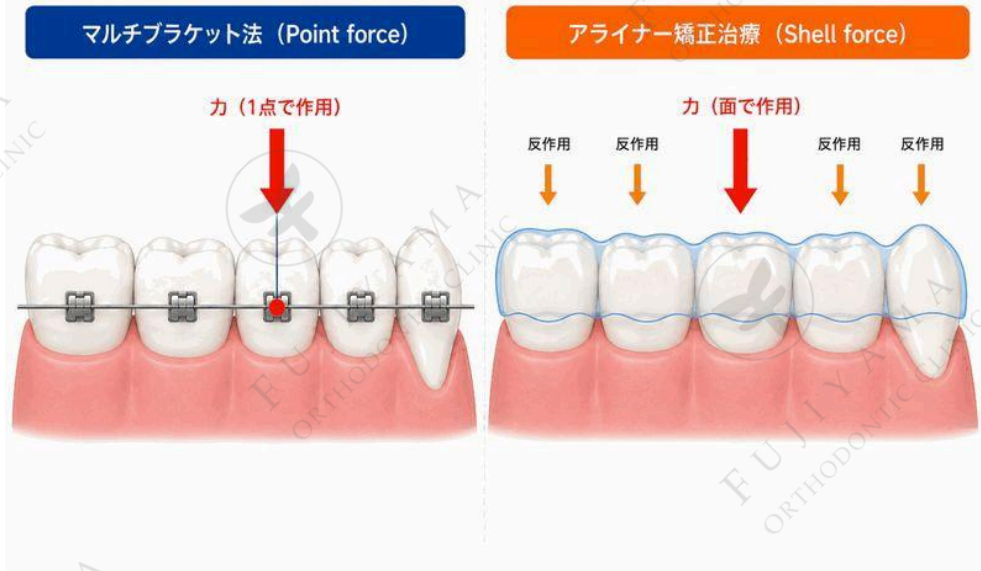
前提となる3つの図

なぜ「数値」と「設計」が必要なのか——5原則の前提となる3図。



仮想完成図と臨床的実現量の乖離(Kravitz 2009: 41%/Hauuli 2020: 50%)。この乖離を埋めるのが Clinical Design。

Point force と Shell force の対比



point force (MBA) と shell force (CAT) の対比。反作用が歯列全体に分散するため数値安全域が要る。

Clinical Design Loop

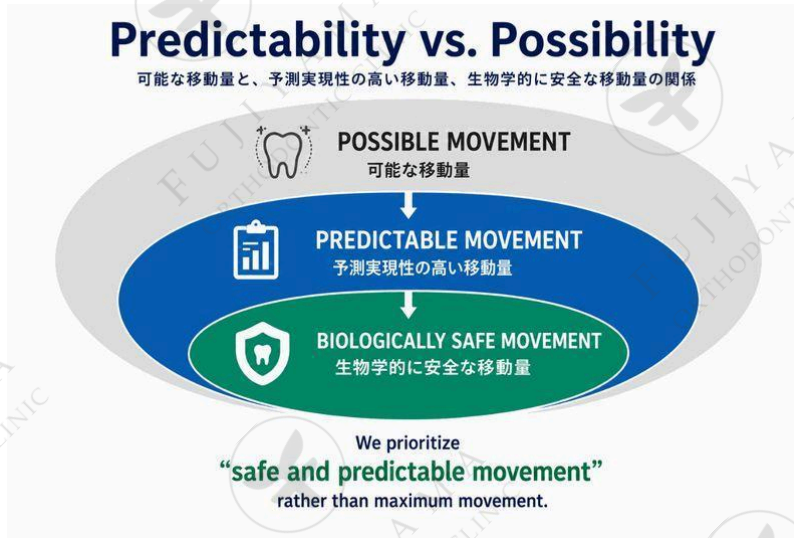


Clinical Design Loop: 設計→臨床応用→monitoring→refinement の閉鎖ループ。

原則 1 水平移動量の上限を守る

「どこまで動かせるか」ではなく「安全かつ予測可能に動かせるか」で上限を決める。最大移動量ではなく、東アジア人の歯槽骨条件で再現しやすい範囲。

- ▶ 歯列拡大量 1.5mm 以内
- ▶ 臼歯遠心移動 2.0mm 以内(下顎は厳守/上顎複合設計でも2.5mmまで)
- ▶ 臼歯近心移動 2.0mm 以内



可能・予測実現・生物学的安全の3領域。本書が基準とするのは最も内側の「安全かつ予測可能」域。

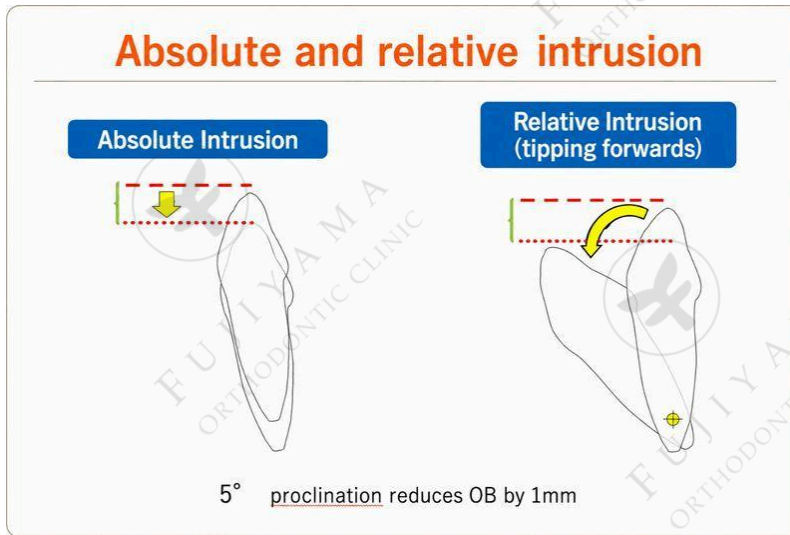


順次的遠心移動+Class II elastics。1歯ずつ動かし固定源を確保して2.0mm以内に収める。

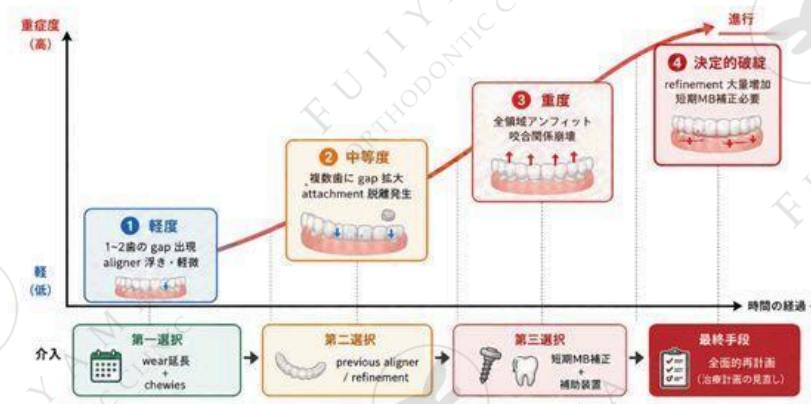
原則 2 1ステージと垂直移動の速度を守る

到達点(destination)だけでなく到達経路(pathway)を設計する。速度を超えると aligner が浮き、tracking loss(設計と実際の歯位置の乖離)に直結する。

- ▶ 1ステージ移動量 **0.25mm** 以下(超過で **tracking loss** 高リスク)
- ▶ 垂直移動量(圧下・挺出) **0.15mm** 以下(予測実現性が最も低い移動)



絶対的圧下(左)と相対的圧下(右)。5°の唇側tippingでOBは見かけ上1mm減る=真の圧下ではない。



tracking loss の進行: 軽度gap→複数歯の浮き→全顎アンフィット→refinement反復。速度超過が起点。

原則 3 移動量に比例して torque・アンギュレーションを付与する

デジタルセットアップの歯の配列手順

デジタルセットアップでは、原点の設定から各歯の配列まで、決められた順序で位置を決定していく。以下に全9ステップの流れと、各段階での主要な判断ポイントを図で示す。

デジタルセットアップの歯の配列手順

- 01 症例の提出時に原点の設定を行う
- 02 第一大臼歯の近遠心的および垂直的な位置の決定
- 03 下顎前歯の位置の決定
- 04 下顎犬歯の位置の決定
- 05 下顎小臼歯・大臼歯の頬舌側位置の決定
- 06 上顎小臼歯・大臼歯の頬舌側位置の決定・垂直的な位置の調整
- 07 上顎犬歯の位置の決定
- 08 上顎前歯の位置の決定
- 09 全体的なコンタクト位置の決定

デジタルシミュレーションを行う為に原点を設定する

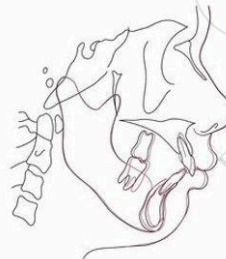
下顎前歯の移動は、自由度が一番ない為、VTOより導いた下顎前歯の位置を原点とする

- ◆下顎前歯の唇舌的な位置
- ◆下顎前歯の垂直的な位置

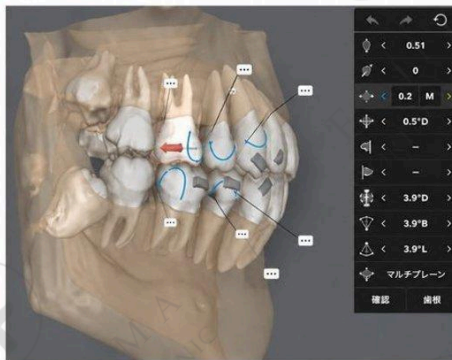
その他の位置を決定する

- ◆OB, OJの大きさの指示

- ◆正中の移動は(上顎に合わせる? 上顎を右へ1.5mm? など)



例題 例えば、上顎右側第一大臼歯の移動は?



圧下方向へ0.5mm移動
頬舌側の移動は0mm
近心方向へ0.2mm移動
歯冠が遠心方向へ0.5°回転

歯根遠心方向へ移動する
アンギュレーションの移動が3.9°

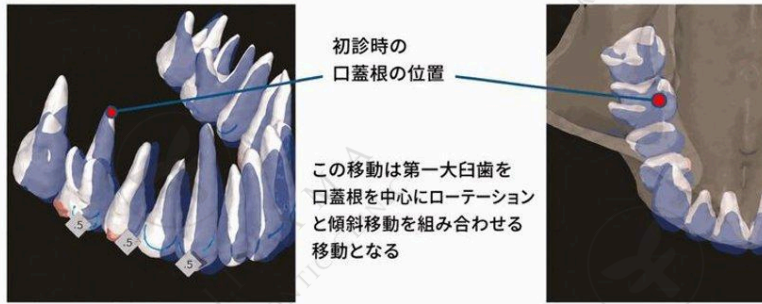
頬舌側の移動は0mmの為
歯根が頬側へ移動するトルクが3.9°

▶トルクに関しては、頬舌側の移動に対して歯根の移動方向を判断する



歯を選択すると、最初の位置よりどのように移動しているか表示されている。

上顎第一大臼歯の歯根は口蓋根の根尖をできるだけ移動させない



口蓋根の根尖をできるだけ移動させないことで、第一大臼歯の移動が容易になる

下顎前歯の頬舌側的な位置決め

例えば、下顎右側中切歯の移動は？

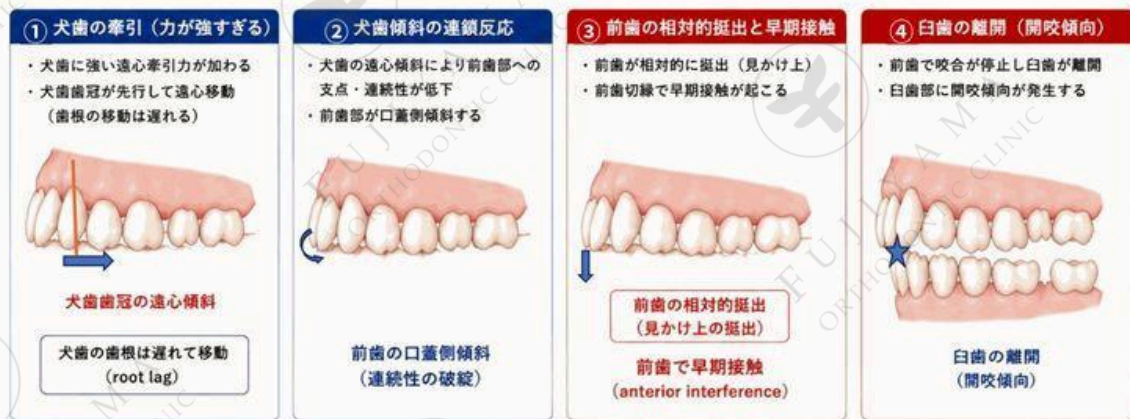
- ▶ 圧下方向へ1.0mm移動
- ▶ 頬舌側の移動は頬側へ1.1mm
- ▶ 近心方向へ0.5mm移動
- ▶ 歯冠が遠心方向へ23.5°回転
- ▶ 歯根遠心方向へ移動するアンギュレーションの移動が1.3°
- ▶ 頬舌側の移動は1.1mmの為、クラウンバックトルクが5.7°
- ▶ イニシャルから最終位置への移動には、 $\text{圧下量} + \text{頬舌側への移動量} \times 2 \sim 3$ 度のトルクが必要となる。今回の場合はクラウンバックトルクということになる。

下顎犬歯の位置の決定

- ▶ 下顎前歯のトルクが変化したことにより、犬歯の頬舌側的な位置を再設定する必要がある
- ▶ 下顎前歯にトルクがルートリンガルトルク・クラウンラビアルトルクが大きく入っている場合は、犬歯が舌側に排列されることになる。
- ▶ イニシャルのクリンチェックでは、下顎歯列が縮小された位置に対して排列されている可能性が高い
- ▶ 前歯の1mmの圧下移動に対して2～2.5度の歯根を遠心に傾斜させるアンギュレーションが必要
- ▶ 2mm以上の前歯の圧下は、30ステージ以内では移動困難な為、歯根を遠心に移動させるアンギュレーションを7～8度追加で加え、次の治療計画に備える。

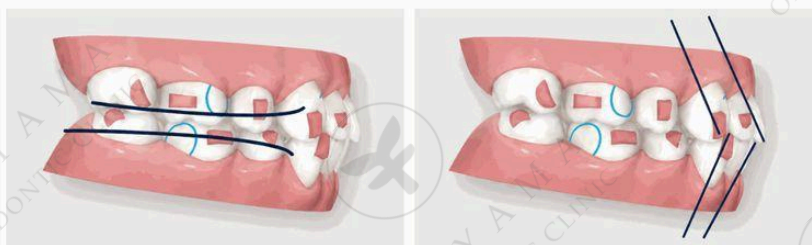
CATは「動かさない歯」ではなく「動かさない力系」を作る装置。前歯・犬歯の root 制御が不足すると Bowing Effect → Roller Coaster Effect → POB へ連鎖する。

- ▶ 前歯 root torque 補正 1mm の舌側・圧下移動あたり 2~3°
- ▶ 犬歯アンギュレーション補正 1mm の圧下移動あたり 2~2.5° (歯根を遠心へ)



root torque/アンギュレーション不足が招く Bowing Effect → Roller Coaster Effect の連鎖。

オーバーコレクションでボーイングエフェクトを予防する



前歯にルートリンガルトルクを最終の想定位置より 2~3 度以上追加で加える

犬歯のアンギュレーションを最終の想定位置より 2~5 度以上追加で加える

over-correction による予防: 前歯 root lingual torque と犬歯アンギュレーションをあらかじめ強めに設計。

原則 4 最終咬合位置・咬合接触点を考えて設計に組み込む

整列の見ただけではなく接触を数値で設計する。臼歯は咬合力で1~1.5mm圧下されるため、前歯は意図的に離開させておく。

- ▶ 上下前歯の離開量 約 **0.2mm** (anterior premature contact 予防)
- ▶ OB・OJ 目標 **2.0mm**
- ▶ 臼歯接触 **C**コンタクトを初期接触に当てない／フィニッシュは犬歯誘導を基本に選択

Occlusal Contact Patterns Comparison



犬歯誘導(左)とグループファンクション(右)。症例条件に応じてフィニッシュで選択する。

ライナー矯正の目指すべき最終位置

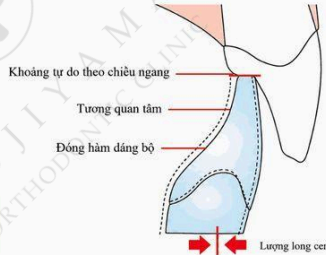
CATは咬合面を覆って歯を動かすためスプリント効果が強く出やすく、CATを外した直後に安定して咬合できる位置まで歯を移動し、long centric を最小化した状態で ICP を確立する。

- ▶ 目標顎位 **CO**(中心咬合位) = **CR**(中心位)を目指し、**long centric** を可能な限り小さくする
- ▶ CO-CR discrepancy **1mm**未満を目指す
- ▶ 最終確認 治療終盤に **CAT** を外した直後の安定咬合位で、早期接触を確認・調整する

ライナー矯正治療の最終目標 顎位は？

✓ ライナーを外した直後に安定して咬合できる位置まで歯を移動することが望ましい。
(long centric が極限まで小さくなった状態で ICP を確立する)

⚠ しかし、この位置が **CO** と **CR** が一致した場所とは限らない。



🎯 矯正治療の最終位置は、早期接触により誘導された顎位を改善し、改善後の顎の位置に歯を配列し、生理的な咬合を目指していると考えられる。

ライナー矯正治療の最終目標としての顎位。CATを外した直後に安定咬合する位置まで歯を動かす。

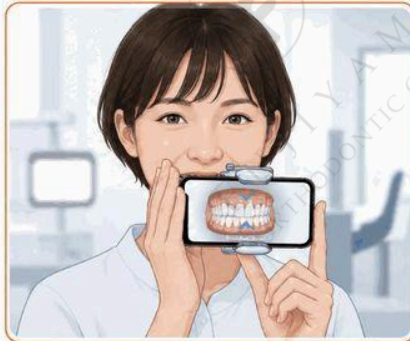
原則 5 数値で乖離を予想し、refinement で再設計する

設計と治療経過の乖離は必ず生じる。アンフィット量と monitoring 頻度を数値で運用し、refinement は失

敗ではなく治療を完成に近づける再設計と位置づける (Clinical Design = Failure Prevention)。

- ▶ アンフィット判定 0.25~0.5mm=SAFE / 0.5~1.0mm=注意 / 1.0mm以上=要再設計
- ▶ AI monitoring 週1回 (GO / NO-GO 判定で次CATへの移行可否を管理)
- ▶ retention monitoring AI 月1回 / 来院 3~6か月

モニタリングを強化する為にはAIを利用する



- ✔ 毎週写真を撮影し、AIが画像解析する
- ✔ アタッチメントなどの脱離を1週間単位でチェックする
- ✔ フィッティングが悪いときは、次のアライナーに進まない
- ✔ 装置の不適合時に、アタッチメントの存在が今後の治療に影響する場合は、アタッチメントを除去を検討
- ✔ 見落としを予防できる



AIを活用した定期的なモニタリングで、適切な判断と早期対応を実現し、治療の精度と効率を向上させる

週1回の写真をAIが解析。来院間隔では捉えられない時間分解能で乖離を早期検出する。

歯根の移動を待つべきアンフィット



アタッチメントとアライナーはフィットしているが、尖頭で空隙がある場合



3日間延長を繰り返すことにより、軽度のアンフィットを改善する



この患者案の場合は7日交換であったが、今後のモニタリングは10日~13日交換に変更する必要がある

アンフィットのGO/NO-GO判定: 切端に空隙が残る間は移行保留→3日延長を反復し、歯根の追従を待つ。

図10-1A. 追加ライナー判断ツリー (Clinical Designに基づく)

患者負担・治療効率・到達度・後戻りリスクを総合評価し、最も合理的な次の一手を選択する



refinement判断ツリー。軽微/中等度/重大な乖離に分岐し、原因分析→再設計へ進む。

アライナータイプリテーナー装着スケジュール



retainer装着スケジュール。咬合不安定症例は初期20時間以上を1年維持してから段階的に減量。

各章の Beginner Shortcut(章別早見)

13章それぞれの「まず守ること」と「避けること」を数値中心に1枚化。詳細・エビデンスは本文／オリジナル版を参照。

第1章 Clinical Design 序論

- ▶ CATは「簡便な矯正」ではない。setup softwareは治療結果を保証しない。
- ▶ 計画移動量の到達度は約**41~50%**(Kravitz 2009/Haouili 2020)。over-correctionを前提に設計する。
- ▶ refinementは失敗ではなく構造的に予定された正常工程。初期計画段階から患者説明・期間・費用に反映する。
- × 避ける: simulation依存／root未評価／monitoring未設定

第2章 CATの力学的特徴

- ▶ CATはMBAと力学が本質的に異なる(pushing force/shell force/intermittent force)。「wire control」は存在しない。
- ▶ 歯冠移動が先行し歯根移動は遅延する — uncontrolled tipping・tracking lossの力学的根源。
- ▶ 力系はCAT形態・アタッチメント・補助装置の組み合わせで構築し、refinement前提で設計する。
- × 避ける: uncontrolled root tipping/vertical control loss(POB・前歯干渉)/持続的tracking loss

第3章 digital setupの手順【中核章】

- ▶ 第一大臼歯遠心移動 **2.0mm**(限界**2.5mm**)。前歯OB・OJ最終目標 各**2.0mm**。
- ▶ 下顎前歯root torque補正 **1mm**圧下あたり**+2~3°**／犬歯アンギュレーション **+2~2.5°**。
- ▶ 上下前歯は**0.2mm**離開。前歯圧下**<2mm**は標準補正、**<3mm**はrefinement+補助装置、**4mm**以上はTAD必須。

第4章 CATにおけるstaging

- ▶ **1ステージ**移動量 **0.25mm**(rotation約**2°**)、装着**7~14日**。同時移動は**1~2歯群**まで。
- ▶ tracking loss対応開始はアンフィット**0.5mm**以上。over-correction stageは微小空隙閉鎖・コンタクト緊密化に限定。
- ▶ 初回aligner後の追加発生率は標準症例で**100%**(=予定された正常工程)。

第5章 臼歯の遠心移動のmechanics

- ▶ 遠心移動の目安は下顎**2.0mm**／上顎複合設計**2.5mm**。aligner単独到達度は約**50%**。
- ▶ **2mm**以上はTAD併用を推奨。Class II elastics併用時は反作用を考慮する。

第6章 最終顎位の予測(スプリント効果・Elastic Jump)

- ▶ CO-CR discrepancy: **1mm**未満=経過観察／**1~3mm**=スプリント診断／**3mm**以上=スプリント療法先行。
- ▶ スプリント装着**4~8週**。CAT全顎装着で咬合高径 約**1.5mm**増(片顎約**0.75mm**)。
- ▶ elastic標準力: Class II/III **6 oz**、vertical **3~4.5 oz**。

第7章 IPR (Interproximal Reduction)

- ▶ 1接触面 **0.25~0.5mm**／1歯両側合計 **0.5~1.0mm**／片顎累積上限 **4~6mm**。
- ▶ 前歯部 **0.2~0.3mm**・臼歯部 **0.3~0.5mm**/接触面。IPR後**2~4週**はフッ化物応用で再石灰化。

第8章 CATの付加装置

- ▶ アタッチメント追加はアンフィット**0.5mm**以上で判断。標準長径**3~4mm**(犬歯**4mm**)。
- ▶ elastic標準力**6 oz**・**20~22時間/日**。Bite ramp適応OJ **2.5mm**程度(臼歯離開**2~3mm**)。
- ▶ 前歯圧下TADは圧下**4mm**以上で必須。Power ridgeは自動設置(術者指定不可)。

第9章 AI monitoringによるtracking loss/アンフィット運用

- ▶ スキャン週**1回**。アンフィット **0.25~0.5mm**=経過観察／**0.5~1.0mm**=refinement検討／**1.0mm**以上=refinement。
- ▶ 歯根追従の待機は**3~9日**(GO/NO-GO判定)。
- ▶ 導入効果(refinement約**50%減**)は約**10か月**=1治療サイクルで発現。

第10章 refinementの重要性

- ▶ 初回後の追加発生率**100%**、平均**2~3回**、追加期間は全治療の**20~40%**。
- ▶ 追加サイクルは**30~35ステージごと(6~10か月毎)**。初回終了時評価後、即時~**1か月**以内に発注。

第11章 retention

- ▶ 安全域: posterior expansion **1.5mm**以内／distalization 約**2.0mm**以内。
- ▶ monitoring: AI月**1回**・来院**3~6か月**。咬合安定=**12時間/日(0~6か月)**、不安定=**20時間以上/日(0~12か月)**。
- ▶ 第一選択はalignerタイプ(咬合安定症例)。fixed retainerは原則非推奨。POB残存はdigital setup再設計を第一選択。

第12章 CATにおけるトラブルシューティング

- ▶ 最重要原則=トラブルに発展しないdigital setupを初期段階で構築すること。
- ▶ tracking loss: 軽度=wear延長+chewies／中等度=戻し or 追加aligner／重度・root control failure=短期MBA補正併用。
- ▶ Bowing Effect予防=犬歯root distal tipping+前歯buccal crown torque+sequential staging。POB発見時はrefinement再設計。

Clinical Design = Failure Prevention

5原則と数値を守ることが、そのまま失敗回避の設計になる。

参考文献

本簡略版の臨床数値・記述の主要な根拠文献を抜粋して掲載する。

- [1] Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;135(1):27-35. [doi:10.1016/j.ajodo.2007.05.018](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018). [Level II]
- [2] Haouili N, Kravitz ND, Vaid NR, Ferguson DJ, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2020;158(3):420-425. [doi:10.1016/j.ajodo.2019.12.015](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.12.015). [Level II]
- [3] Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign orthodontic treatment: a systematic review. Prog Orthod. 2018;19:37. [doi:10.1186/s40510-018-0235-z](https://doi.org/10.1186/s40510-018-0235-z). [Level I]
- [5] Tweed CH. The Frankfort-mandibular incisor angle in orthodontic diagnosis, treatment planning, and prognosis. Angle Orthod. 1954;24(3):121-169. [doi:10.1043/0003-3219\(1954\)024<0121:TFIAFI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1954)024<0121:TFIAFI>2.0.CO;2). [Level V]
- [8] Okeson JP. Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion. 8th ed. Elsevier; 2019. [Level V / Textbook] [[Elsevier](#)]
- [9] Ravera S, Castrolforio T, Garino F, Daher S, Cugliari G, Deregibus A. Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study. Prog Orthod. 2016;17:12. [doi:10.1186/s40510-016-0126-0](https://doi.org/10.1186/s40510-016-0126-0). [Level III]
- [11] Rinchuse DJ, Kandasamy S. Centric relation: a historical and contemporary orthodontic perspective. J Am Dent Assoc. 2006;137(4):494-501. [doi:10.14219/jada.archive.2006.0222](https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0222). [Review]
- [15] Sheridan JJ. Air-rotor stripping. J Clin Orthod. 1985;19(1):43-59. [Level V] [[JCO](#)]
- [16] Zachrisson BU, Nyoygaard L, Mobarak K. Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;131(2):162-169. [doi:10.1016/j.ajodo.2006.10.001](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.10.001). [Level III]
- [18] Monisha J, Peter E. Efficacy of clear aligner wear protocols in orthodontic tooth movement—a systematic review. Eur J Orthod. 2024;46(3):cjae020. [doi:10.1093/ejo/cjae020](https://doi.org/10.1093/ejo/cjae020). [Level I]

- [19] Aye ST, Liu S, Byrne E, El-Angbawi A. The prevalence of the failure of fixed orthodontic bonded retainers: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2023;45(6):645-661. [doi:10.1093/ejo/cjad047](https://doi.org/10.1093/ejo/cjad047). [Level I]
- [20] Iliadi A, Kloukos D, Gkantidis N, Katsaros C, Pandis N. Failure of fixed orthodontic retainers: a systematic review. *J Dent.* 2015;43(8):876-896. [doi:10.1016/j.jdent.2015.07.013](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.07.013). [Level I]
- [21] Charavet C, Vives F, Aroca S, et al. Wire syndrome following bonded orthodontic retainers: a systematic review of the literature. *Healthcare (Basel).* 2022;10(2):379. [doi:10.3390/healthcare10020379](https://doi.org/10.3390/healthcare10020379). [Level I]
- [23] Cheng Y, Gao J, Fang S, Wang W, Ma Y, Jin Z. Torque movement of the upper anterior teeth using a clear aligner in cases of extraction: a finite element study. *Prog Orthod.* 2022;23(1):26. [doi:10.1186/s40510-022-00421-8](https://doi.org/10.1186/s40510-022-00421-8). [Level III/FEA]
- [26] Hong YY, Kang T, Zhou MQ, Zhong JY, Chen XP. Effect of varying auxiliaries on maxillary incisor torque control with clear aligners: A finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024;166(1):50-60. [doi:10.1016/j.ajodo.2024.02.012](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.02.012). [Level III/FEA]
- [28] Fracchia DE, Bignotti D, Lai S, Battista E, Verdecchia A, Spinus E. Predictability of Lower Incisor Intrusion with Clear Aligners: A Systematic Review of Efficacy and Influencing Factors. *J Clin Med.* 2025;14(17):6339. [doi:10.3390/jcm14176339](https://doi.org/10.3390/jcm14176339). [Level I]
- [29] Shahabuddin N, Kang J, Jeon HH. Predictability of the deep overbite correction using clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;163(6):793-801. [doi:10.1016/j.ajodo.2022.07.019](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.07.019). [Level III]
- [30] Benedetti G, Sicca N, Lopponi G, Dettori C, Verdecchia A, Spinus E. Evaluating the Clinical Success of Clear Aligners for Rotational Tooth Movements in Adult Patients: A Systematic Review. *Dent J.* 2025;13(10):440. [doi:10.3390/dj13100440](https://doi.org/10.3390/dj13100440). [Level I]
- [31] Koletsis D, Iliadi A, Eliades T. Predictability of rotational tooth movement with orthodontic aligners comparing software-based and achieved data: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *J Orthod.* 2021;48(3):277-287. [doi:10.1177/14653125211027266](https://doi.org/10.1177/14653125211027266). [Level I]
- [32] Blundell HL, Weir T, Byrne G. Predictability of anterior open bite treatment with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(5):674-681. [doi:10.1016/j.ajodo.2023.04.017](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.04.017). [Level III]
- [33] Lam J, Freer E, Miles P. Comparative assessment of treatment efficiency and patient experience between Dental Monitoring and conventional monitoring of clear aligner therapy: a single-center randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;163(4):456-464. [doi:10.1016/j.ajodo.2022.12.004](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.12.004). [Level II/RCT]
- [34] Marks J, Freer E, Ong D, Lam J, Miles P. Evaluating Dental Monitoring effectiveness compared with conventional monitoring of clear aligner therapy using the Peer Assessment Rating index. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024;166(4):350-355. [doi:10.1016/j.ajodo.2024.05.014](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.05.014). [Level II]
- [35] Talens-Cogollos L, Vela-Hernández A, Peiró-Guijarro MA, García-Sanz V, Montiel-Company JM, Gandía-Franco JL, Bellot-Arcís C, Paredes-Gallardo V. Unplanned molar intrusion after Invisalign treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;162(4):451-458. [doi:10.1016/j.ajodo.2021.03.019](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.03.019). [Level III]
- [36] Fujiyama K, Honjo T, Suzuki M, Matsuoka S, Deguchi T. Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: comparison with fixed edgewise appliance therapy. *Prog Orthod.* 2014;15(1):64. [doi:10.1186/s40510-014-0064-7](https://doi.org/10.1186/s40510-014-0064-7). [Level III] (本書著者 藤山らによる臨床研究)
- [37] Fujiyama K. Rethinking the treatment goal of clear aligner therapy from the standpoint of the final mandibular position (centric occlusion and centric relation). *Ann Jpn Prosthodont Soc.* 2025;17(2):93-. [doi:10.2186/ajps.17.93](https://doi.org/10.2186/ajps.17.93). (in Japanese) [Review]
- [38] Fujiyama K, Kera Y, Yujin S, Tanikawa C, Yamashiro T, Guo X, Ni A, Deguchi T. Comparison of clinical outcomes between Invisalign and conventional fixed appliance therapies in adult patients with severe deep overbite treated with nonextraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022;161(4):542-547. [doi:10.1016/j.ajodo.2020.08.023](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.08.023). [Level III]
- [39] Baneshi M, O'Malley L, El-Angbawi A, Thiruvengkatachari B. Effectiveness of clear orthodontic aligners in correcting malocclusions: a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract.* 2025;25(1):102081. [doi:10.1016/j.jebdp.2024.102081](https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2024.102081). [Level I]
- [40] Correa E, Michelogiannakis D, Barmak AB, Rossouw PE, Javed F. Efficacy of clear aligner therapy for the treatment of anterior open bite in adults: a systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2025;28(2):261-270. [doi:10.1111/ocr.12868](https://doi.org/10.1111/ocr.12868). [Level I]
- [41] Ruiz DC, Mureşanu S, Du X, Elgarba BM, Fontenele RC, Jacobs R. Unveiling the role of artificial intelligence applied to clear aligner therapy: a scoping review. *J Dent.* 2025;154:105564. [doi:10.1016/j.jdent.2025.105564](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105564). [Scoping Review]
- [42] Proffit WR, Fields HW, Larson BE, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics*. 7th ed. St. Louis: Elsevier; 2025. [Textbook] [\[Elsevier\]](https://www.elsevier.com).

[43] Darvizeh A, González-Sánchez JA, Doria-Jaureguizar G, Quevedo O, de la Iglesia-Beyme F, Elmsmari F, Del Fabbro M. External apical root resorption following orthodontic treatment with clear aligners versus fixed appliances: a systematic review and meta-analysis. Dent J. 2025;13(12):580. [doi:10.3390/dj13120580](https://doi.org/10.3390/dj13120580). [Level I]