論文とETIC 16

支援を届ける時機を、どう設計するか

JITAIの六つの要素と、生活の中で確かめる方法



Daiki Morimoto / Unknown Lab
ORCID: 0009-0009-6444-750X
Version 1.0 / 公開日 2026-11-04
DOI: 10.5281/zenodo.23933094
未査読 / 専門職としての著者確認済み
独立専門レビュー未実施 / AI支援執筆
ライセンス: CC BY 4.0

30秒で読む

通知や声かけを「いつ出すか」は、設計の対象として書き出し、試験で確かめることができる。Nahum-Shaniらは、生活の中で支援の時機と内容を変える介入（JITAI）を、遠い目標、直近の目標、判断する時点、選択肢、判断に使う情報、判断規則の六要素に整理した[1]。HeartStepsの6週間の試験は、各判断時点で提案を出すかどうかを無作為に決め、直後30分の歩数を比べた[2]。歩行提案には期間平均で小さな直近効果がみられたが、初期の効果は約1か月で検出できなくなった。認知症や軽度認知障害のある高齢者を対象としたVOICE-COGは、人が決めた時刻の音声配信と声による呼び出しを30人で実施できることを示したが、時機の規則そのものは試験していない[3]。本稿の答えは、既存の六要素で規則を明文化し、「何も出さない」選択と欠測時の動作を含めたうえで、単純な固定時刻と比べて直近の効果と負担を確かめる、である。

本稿が扱う問いと資料

同じ声かけでも、届く時機によって意味が変わる。たとえば外出前に持ち物を知らせる声かけは便利でも、外出中の移動や会話の最中に届けば邪魔になりうる（問いを示すための説明例で、引用研究で観察された事例ではない）。

前回は、記憶に基づいて先回りして声をかける仕組みを検討した。今回の問いは、確立した介入設計の枠組みが支援の時機をどう規定し、試験の結果がどの規則を残すかの判断にどう使われるか、である。

中心資料は三つある。第一はJITAIの構成要素と設計原則を整理した理論・設計論文[1]である。健康行動理論と既存のJITAI事例に基づく質的な整理で、系統的レビューやメタ分析は行っておらず、新たな臨床標本、試験期間、効果量もない。第二はHeartStepsのマイクロランダム化試験（MRT）[2]である。MRTは本シリーズで既に扱った方法で、HeartStepsも個人単位の評価を論じた既刊noteで短く触れた。本稿では同じ試験を、六要素の設計、無作為化による証拠、欠測の扱いを読む例として再利用する。第三は

VOICE-COGの予備的無作為化比較試験[3]で、時機を人が設定する認知リエイブルメント（生活機能の回復と維持を目指す支援）の例として比較する。

表1 本稿で扱う資料

資料	種類・対象・期間	本稿での役割
Nahum-Shaniら 2018[1]	理論・設計論文。新しい標本なし	時機の設計を六要素に分ける枠組み
Klasnjaら 2019[2]	米ミシガン州の健康な座りがちな成人37人を解析する6週間のMRT。募集は2015年8月〜2016年1月	判断時点ごとの直近効果を確かめる方法の例（再利用）
Yiannisら 2026[3]	豪州の60〜85歳、認知症・MCIの自己申告診断がある30人、12週間の予備的RCT。選考は2023年9月〜2024年6月	人が時刻を設定する音声支援との比較
Gaziら 2026[5]	枠組み論文。新しい有効性試験を含まない	次に読む論文

出典：各文献から著者作成。解釈：三つの研究は問いと対象が異なり、効果の大小を互いに比べる材料にはならない。

時機を六つの要素に分ける

論文が埋めようとした空白

Nahum-Shaniらは、端末やセンサーで支援を届ける技術が先行し、経験的証拠や理論をほとんど使わずに作られたJITAIが多いことを問題にした[1]。適応型介入の既存の枠組みは、判断時点、介入の選択肢、調整変数、判断規則の四要素を示していた。同論文はこれに遠位アウトカムと近位アウトカムを加えて六要素とし、臨床家、行動科学者、工学者、統計家が同じ語で議論できる用語を整えた。背景には、悪化しやすい状態（脆弱性）や前向きな変化が起きやすい状態（機会）が、短時間に、予期せず、日常生活の場で現れるという見方がある。対面支援ではその瞬間を捉えにくいため、携帯端末による継続的な観察と提示が求められる。

表2 JITAIの六要素と歩行の設計例

要素	論文での意味	歩行の設計例（説明用）
遠位アウトカム	介入が最終的に目指す結果	数か月後の日常の歩数が増える
近位アウトカム	提示の直後に測れる短期の目標。媒介要因や遠位目標の途中経過	提示後30分の歩数、通知への疲れ
判断時点	提示するかを決める時点	平日の昼休みと夕方の2回
介入の選択肢	判断時点で取りうる行動。「何も出さない」を含む	短い歩行の提案、または何も出さない
調整変数	判断に使う、時間とともに変わる情報	運転中か、歩行中か、直前の活動量、データの有無
判断規則	調整変数の値と選択肢を結ぶ規則	運転中・歩行中は出さない。データが欠けたときの既定動作を決めておく

出典：[1]の定義を著者が要約。解釈：歩行例は六要素の使い方を示すための設計例で、新たな実験や結果を表さない。

時点の決め方と、情報の選び方

判断時点の頻度について、論文は調整変数が「意味のある変化」をどれくらいの間隔で起こすかを最初の基準にする[1]。意味のある変化とは、どの選択肢を選ぶべきかを変える変化である。危険な場所に近づく、30分間座り続けた、といった状態への出入りがこれにあたる。時点の間隔がこの変化と合わなければ、介入の機会を逃す。一方、本人に入力を求める測定では回答負担が増えるため、時点を減らす判断もありうる。

調整変数の選び方には、より強い条件がある。役立つ変数とは、ある条件の下で一方の選択肢が他方より近位アウトカムを改善しやすいことを見分けられる変数である[1]。悪化の危険を予測できるだけでは足りない。危険が高い時点に提示しても、その時点で介入が効かなければ規則はよくならないからである。論文は、測定の信頼性が低ければ規則は無作為に選ぶのとほとんど変わらず、妥当性を欠けば逆効果の選択肢を勧めることさえあると述べる。

出さない選択、受け入れ可能性、欠測

時機の設計で見落とされやすいのが「何も出さない」という選択肢である[1]。論文はこれを、支援が不要なとき、本人が受け入れられる状態にないとき、提示が安全上・倫理上問題になるとき（運転中に音声で応答を求めるなど）に使う正式な選択肢として位置づける。受け入れ可能性（receptivity）は、その時点で支援を受け取り、処理し、使える一時的な能力や意欲を指す。会議中なら文字の通知は読めても電話には出られないように、支援の形式によっても変わる。

近位アウトカムには健康行動に加えて、介入への関与と疲労も含めることが勧められる。同じ内容の反復は慣れや退屈を生み、関与を損なうからである。さらに、通信障害、電池切れ、装着忘れ、関与の低下によって調整変数が欠けた場合の動作を、規則の中に前もって書いておく必要がある。欠測そのものが疲労や関与低下の手がかりになることもある。

六要素は、if-then形式の固定規則にも、データから規則を更新する学習型の方法にも使える。論文は多腕バンディット法で規則を更新する例を挙げ

ており、どちらの場合も設計の骨格は同じである。JITAIであるために大規模言語モデルは必要とされない。

著者の結論と、残された課題

著者らが結論で求めたのは、時間とともに変わる過程を具体的に記述できる行動理論である[1]。既存の理論の多くは、気分や渇望がどれくらいの速さで変わるかを特定しておらず、規則の根拠として不十分だという指摘である。構成要素ごとの因果的な証拠を得る手段としてMRTを、規則の継続的な更新には学習型の方法を挙げたが、すべてのJITAIが有効だとは主張していない。また、論文の定義では支援の時機を介入側が決めるが、本人が自分で支援を呼び出せる仕組みを加えることには、本人が最もよく分かる状況への対応や自律性の尊重といった利点がありうるとし、その組み合わせ方を未解決の研究課題とした。

HeartSteps：判断時点ごとに効果を確かめる

何を、どう試したか

HeartStepsは、日中に歩く機会を増やすことを目指したAndroidアプリである[2]。著者らは、状況に合わせた活動提案という一つの構成要素を次の版に残すかを決めるため、6週間のMRTを行った。比較したのは、各判断時点で提案を「出す」と「出さない」であり、文脈に合わせた提案と合わせない提案は比べていない。当時新しかったMRTを用いて、提案の効果の大きさと時間変化について初期の証拠を示した点が、この研究の位置づけである。

表3 HeartStepsの試験の流れと条件

項目	内容	読む際の注意
対象	英語話者、18〜60歳、日中に家の外で仕事や決まった予定がある健康な座りがちな成人。44人を募集し37人を解析	3人は端末の言語設定によるデータ破損、4人は早期離脱で除外
判断時点	1日5回（朝の通勤、昼、午後、夕方の通勤、夕食後）。具体的な時刻は本人が設定	時刻の枠は本人の予定に合わせて固定
提示しない条件	運転中、歩行・走行中、活動直後90秒以内、オフライン	安全と負担への配慮を規則に組み込んだ例
無作為化	提示可能な時点で、提示なし0.4、歩行提案0.3、座位中断提案0.3	過去の割付や反応とは独立に決定
提案文	時間帯、平日・週末、場所、天気に合わせた500超の作成済みの文	生成AIは使っていない
判断時点の数	解析対象7,540時点、うち提示可能6,061時点	6,061は時点の数で、人数を表さない

出典：[2]本文と補足資料。解釈：同じ人の中で「出した時点」と「出さなかった時点」を多数比べるため、提示の直近効果を推定できる。

主要アウトカムは、無作為化後30分間に腕時計型活動量計が記録した歩数である。歩数の分布は右に偏るため対数変換し、係数は指数変換した比として報告された。解析には中心化重み付き最小二乗法を用い、同じ人の中の相関は頑健標準誤差と小標本補正で扱い、直前30分の歩数で調整した[2]。事前の検出力計算で必要とされた人数は32人だった。報告された比はモデル上の比較で、一人ひとりの歩数が同じ割合で増えることを保証しない。

主な結果

表4 HeartStepsの主な推定値（直後30分の歩数）

比較	推定値（95%CI）	読み方
何らかの提案となし（期間平均）	1.14（0.99〜1.31）、p=.06	主要解析。区間は1を含む
何らかの提案となし（初日）	1.66（1.22〜2.26）、p<.01	日数とともに減り、28日目ごろに区別できなくなった
歩行提案となし（期間平均）	1.24（1.04〜1.47）、p=.02	副次解析
歩行提案となし（初日）	2.07（1.52〜2.82）、p<.001	29日目ごろには検出できなくなった
座位中断提案となし	検出できる効果なし	30分歩数で測れる範囲の結果

出典：[2]本文と補足資料。解釈：初日の値は直線の時間傾向から推定した起点で、持続する効果を表さない。

提示可能な時点の後30分の平均歩数は253歩（SD 473）だった。著者らは期間平均の比1.14をこの253歩に当てはめて約35歩の上乗せと換算し、歩行提案では約59歩とした[2]。これは基準値に比を掛けた著者による近似で、提示あり・なしの算術平均の差を直接測った値とは異なる。初日の歩行提案で示される約2倍（約271歩）も、減っていく傾向の起点にあたる推定値である。28日目や29日目は当てはめた傾向から読み取った目安で、各参加者の効果がその日に消えたことを示すものではない。

減衰の傾きについて、本文は比0.98と負の値をとる信頼区間（−0.03〜−0.01）を併記している。補足資料ではこの区間が対数尺度の係数に対応して示されているため、比の区間としては読めない[2]。限られた範囲の確認では公開された訂正は見当たらず、本稿では表記の不一致として記録するにとどめる。

欠測と感度分析

活動量計は歩いた分だけを記録するため、記録がない時間には座っていた場合と装着していなかった場合が混ざる。6,061時点のうち1,434時点（23.66%）で直後30分の記録がなかった。このうち882時点は直後の記録があることから座っていた可能性が高く、残る552時点は真の欠測とされた[2]。主解析では欠けた分をすべて0歩とした。

感度分析は二つ報告されている。一つは、552時点のうち271時点をスマートフォンの歩数記録（Google Fit）で補い、両方ない281時点を0とした解析で、歩行提案の期間平均効果はp=.02を保った。もう一つは38日以上のデータがある35人に絞った解析で、歩行提案の期間平均はp=.05（丸めた値、対数尺度の係数の区間下限0.00。表4の比の区間とは尺度が異なる）と境界にあった。補足資料には41日以上の部分集合もあり、そこでの歩行提案の期間平均はp=.10だった。この部分集合の人数は補足資料の文中で31人、表の見出しで32人と記載が分かれる[2]。時間とともに減る傾向は、いずれの解析でも有意なまま残った。期間平均の効果はデータの扱いに左右される面があり、減衰の傾向の方が安定している。

著者の結論と、この試験が答えていないこと

著者らは、状況に合わせた歩行提案は日中の短い歩行を始めさせる有望な構成要素であると結論し、次の版に残した[2]。減衰はおそらく慣れによるもので、退出時の面接では提案が2〜4週間で退屈になったという声があった。面接の人数や分析手順は示されておらず、形式的な質的分析の結果としては扱えない。座位中断の提案は楽しいと受け止められた一方で30分歩数を増やさず、著者らは軽い動きを測るには指標が粗かった可能性を挙げた。効果がなかったことの証明にはならない。

この試験は、一日全体の活動量が増えたか、他の時間の歩行が減って相殺されたかを調べていない。健康上の結果、個人ごとの効果の違い、文脈に合わせた内容の上乗せも分けられていない。著者らは次の版で、各人の過去の反応から提示を調整する強化学習を導入するとした。

VOICE-COG：人が時刻を決める音声支援

試験の設計

VOICE-COGは、早期の認知症または軽度認知障害（MCI）のある高齢者向けに共同設計された認知リエイブルメントのプログラムである[3]。専門職の訪問によるリエイブルメントは時間負担が大きく、スマートフォンやタブレットはこの対象には使いにくい。音声アシスタントに関する先行研究は、探索的な質的研究や技術的な使い勝手の評価にとどまっていた。著者らは、目標に基づくプログラムを音声端末で届ける試みを無作為化試験で検討した。

対象はオーストラリア在住の60〜85歳で、6か月以内に認知症やMCIの診断を受けたと自己申告し、家庭のWi-Fi、50%以上の時間近くで接する介護パートナー、スマートフォンをもち、英語に堪能な人である。ウェブ広告と研究参加登録データベースで募り、145件の関心表明から99人を電話で選考し、適格者35人のうち30人を性別で層別したブロック無作為化で15人ずつに分けた。割付表は介入に関与しない研究助手が作成し、参加者と主任研究者は盲検化されていない。介入は一人12週間である。試験登録（ACTRN12623000898651）は2023年8月22日で、登録情報上の参加者登録は2023年9月13日〜2024年6月4日である。登録時の年齢上限89歳は論文で85歳となっており、本稿は論文の解析範囲に従う。登録上の最終追跡日は予定値で、実際の日付は確認できていない。

介入群では、心理士が本人と介護パートナーとともにZoomで2〜3個の目標を選び、希望する配信時刻を記録した。研究者がその内容を専用ソフトウェア（BuddyLink）に入力し、音声端末（Amazon Echo Show 8）から合意した時刻に配信した。本人が声で呼び出せる経路もあった。内容は目標に合わせて個別化されたが、配信時刻は合意した予定に固定され、時間とともに変わる情報で提示の有無を判断する規則は報告されていない。隔週の技術的不具合の報告依頼と、任意の中間確認も加えられた。対照群は通常のケアと週1回の情報メールを受け、目標設定はなかった。

評価の中心は実施可能性で、継続率（12週後の追跡を完了した人数 / 無作為化した人数）70%以上と実施率66%以上が事前の基準とされた[3]。群間

の質問票はベースライン値で調整した共分散分析（ANCOVA）で比べ、標準化効果量をCohen dで示した。尺度内の欠測項目は、その下位尺度の回答平均で補完した。

結果

表5 VOICE-COGの主な結果

指標	結果	読み方
継続率	29/30（97%）。介入群14/15	介入群の1人は理由不明で追跡不能
実施率	平均70%（SD 17）、範囲29〜100%	目標ごとに週1回以上の肯定的な音声応答（「いいえ」「止めて」を除く）があった割合。分母は24または36目標週
使いやすさ（SUS）	56.3（SD 18.1）	著者らの評価は「かろうじて許容」
目標達成	9/15人が期待水準以上。目標単位では25/37（設定された39目標のうち、12週で評価された37目標）	介入群のみの本人・介護者報告
記憶方略の使用（MMQ方略）	群間差5.0（95%CI 0.03〜10.1）、p=.049、d=0.55	多重比較の補正なし。記憶機能の改善を意味しない
日常生活動作（B-ADL）、介護負担（Zarit）	0.2（−1.1〜1.6）p=.71、0.3（−6.6〜7.3）p=.92	有意差なし。区間は広く不確かさが大きい

出典：[3]本文、表2・表3。解釈：実施可能性の評価が主目的で、有効性を検出する検出力はない。

実施率70%は、全配信の70%に応じた、あるいは課題の70%を完了したという意味にはならない。本人が希望した配信は週7〜52回と幅があり、端末が記録した音声応答は週平均12回（SD 12）だった[3]。目標達成は介入群だけで評価され、対照群は目標を設定していないため、無作為化された比較から目標達成の効果は推定できない。7種類の目標モジュールのうち

調理支援は、応答のタイミングと音声操作の不具合で2週間後に撤回された。

著者らは、このプログラムが対象者に実施可能で、多くの参加者が目標を達成し、記憶方略の使用が増えたと結論しつつ、使いやすさの改善と十分な検出力をもつ本試験が必要だとした[3]。限界として、ウェブ経由の募集による高学歴への偏り（大学以上が60%）、診断の自己申告と病期の未確認、社会的望ましさや代理回答の可能性、多重比較の未補正を自ら挙げている。12週間で有害事象が報告されなかったことは、30人規模では安全性の確立を意味しない。

端末の小売価格は2026年10月8日時点で349豪ドルと記されているが、ソフトウェアの設定、研究者と心理士の作業時間、介護パートナーの時間、保守の費用は算定されておらず、費用対効果は測られていない[3]。著者の一人はソフトウェア提供企業の無報酬の取締役で、同社は技術支援を現物で提供したが、設計や解析には関与しなかったと報告されている。データは倫理委員会の承認を条件に請求に応じて提供される。

原資料には小さな不整合もある。SUSの「使い始めるまでに多くを学ぶ必要があった」という項目は、本文と付録5の図で同意・不同意の向きが一致しないため、本稿では根拠に使わない。介入群の追跡完了は14人だが、SUSは15人の回答として記されており、分母が完全には整合しない。登録で計画された質的面接の分析は今後の予定とされ、結果は公表されていない。

二つの試験を並べると見えること

表6 時機の決め方と確かめ方の比較

観点	HeartSteps[2]	VOICE-COG[3]
時機を決める主体	本人が設定した5枠の中で、システムが状況と無作為化で判断	心理士・本人・介護パートナーが合意し、研究者が設定
出さない場合の扱い	運転中・歩行中などは規則で除外。提示可能時点でも確率0.4で提示なし	固定配信。本人は「いいえ」と応答できる
本人からの利用	アプリで過去の提案や歩数を随時閲覧	声で随時呼び出し可能
確かめた問い	提示した時点としなかった時点の直近の歩数差	束ねた介入全体の実施可能性と予備的な群間差
時機の効果の分離	提示の有無の効果は推定可能。文脈に合わせる効果は未分離	不可。目標設定、個別内容、端末、時刻が一体

出典：[2][3]から著者作成。解釈：VOICE-COGの結果から、固定時刻の配信が劣るとも優れるとも言えない。

HeartStepsは支援を出す時点を無作為化し、六要素のうち「この時点で出すか」の効果を測った。出すことの平均的な直近効果は小さく、効果は数週間で薄れ、内容によって違った。規則は一度設計して終わらず、時間とともに見直す対象になることを、この結果は具体的な数値で示している。

VOICE-COGは、時機を人が合意して決め、本人の呼び出しも許す方式が、認知機能の低下がある人にも実施できる可能性を示した。これは[1]が課題とした、介入側が決める支援と本人が始める支援の組み合わせに近い構成である。

ただし、どちらの試験も、内容と人的支援をそろえた条件で、固定時刻、状況に合わせた時刻、学習で調整される時刻を比べてはいない。時機の規則を選ぶための直接の比較は、今回の2試験では検証されていない。

次に読む論文

Gaziら[5]は、JITAIの判断アルゴリズムを実地で展開する前に、対象集団の行動を模した計算モデル（JITAI-Twin）で候補を比べ、展開で得たデータでモデルを更新する循環を提案した。過去データと次の展開の食い違いや、検証・妥当性確認・不確かさの定量化を明示的に扱う。費用のかかる実地試験の前に時機の規則を絞り込む方法として読む価値がある。枠組み論文であり臨床的な有益性は示しておらず、示された指針も今後の実証を要するとされている。

ETIC 2.0との接続

ETIC 2.0は、技術の価値を活動、人、環境、関係の中で捉える枠組みである[4]。以下はUnknown Labの解釈で、引用した研究がETIC 2.0の妥当性や有効性を検証したものではない。

考え方と重なる点

[1]が近位アウトカムに関与と疲労を含め、「何も出さない」を正式な選択肢とした点は、技術の価値を活動と関係の中で捉えるETIC 2.0の考え方と重なる。VOICE-COGで本人と介護パートナーが目標と時刻を一緒に決めた手順も、人と関係を設計に含める見方と重なる。

答えるべき問い

ETIC 2.0は、時機の規則が生活の中で実際に役立っているかをどう確かめるかを、まだ具体的に示していない。HeartStepsの減衰は、導入初期の効果だけでは技術の価値を判断できないことを示す。本人の「いいえ」を失敗として数えるのか、自律的な選択として扱うのかも答えるべき点である。応答回数は生活上の結果の代わりにならず、自律性や希望、より長い期間の生活上の結果をどう測るかが問われる。[1]は本人が始める支援に自律性の尊重という利点がありうると述べ、VOICE-COGは「いいえ」「止めて」と応答できる設計にしたうえで、それらを実施率の算定から除いた。しかし、拒否がその人にとってどのような価値をもったかは評価されておらず、長期の生活上の利益も、6週間と12週間のこの2試験では十分に評価されていない。

具体的な見直し案

新しい構造を作る前に、既存の六要素で時機の規則を書き出すことを提案する。そのうえで目標と受け入れ可能性の指標を選び、内容と人的支援をそろえた条件で、固定時刻、状況に合わせた時刻、学習で調整される時刻を比べる研究設計を検討する。複雑な規則が意味のある上乗せを示さない場合、不確かさが残る場合、負担や費用が増える場合は規則を減らすか中止し、十分であれば既存の固定時刻や人が設定する方式を選ぶ。人の判断が本来優れていると前提せず、同じ基準で比べる。これはUnknown Labの未検証の提案で、原論文がその有効性を示したものではなく、人を対象とした試験の実施や直ちの実践を推奨するものでもない。データの収集範囲と同意の取り方は、研究設計上の検討事項として扱う必要がある。

参考文献

[1] Nahum-Shani I, Smith SN, Spring BJ, Collins LM, Witkiewitz K, Tewari A, Murphy SA. Just-in-Time Adaptive Interventions (JITAIs) in Mobile Health: Key Components and Design Principles for Ongoing Health Behavior Support. Annals of Behavioral Medicine. 2018;52(6):446-462. https://doi.org/10.1007/s12160-016-9830-8

[2] Klasnja P, Smith S, Seewald NJ, Lee A, Hall K, Luers B, Hekler EB, Murphy SA. Efficacy of Contextually Tailored Suggestions for Physical Activity: A Micro-randomized Optimization Trial of HeartSteps. Annals of Behavioral Medicine. 2019;53(6):573-582. https://doi.org/10.1093/abm/kay067（統計補足資料を含む）

[3] Yiannis T, Macpherson H, Scott D, Callisaya M, Chapple C, Glavas C, Gourlay C, Maddison R, Gvozdenko E, Jansons P. Feasibility of a Co-Designed Personalized Cognitive Reablement Program Delivered via Digital Voice Assistants for Older Adults Living With Early-Stage Dementia or Mild Cognitive Impairment: Pilot Randomized Controlled Trial. JMIR Aging. 2026;9:e96922. https://doi.org/10.2196/96922（2026年10月23日公開。同一試験のプレプリントは2026年4月13日）

[4] Morimoto D. エコテクノロジカル・インテグラティブ・ケア（ETIC）2.0, Version 2.1改訂版：AI時代の作業療法とケア生態系設計. Unknown Lab; 2026. https://doi.org/10.5281/zenodo.21848456

[5] Gazi AH, Gao D, Ghosh S, Xu Z, Trella AL, Klasnja P, Murphy SA. Digital Twins for Just-in-Time Adaptive Interventions (JITAIs): Framework for Optimizing and Continually Improving JITAIs. Journal of Medical Internet Research. 2026;28:e72830. https://doi.org/10.2196/72830（2026年3月6日公開。同一研究のプレプリントは2025年5月9日）