訳者前書き

この文書は，2020 年 10 月に科学雑誌 Human Kinetics に公開された Cacciatore らによる学術論文を和訳したものです．論文の著者は、Alexander Technique Science というサイトを運営しており、そこから原文を参照することができます．また、著者らはそのサイトに、用語集も設けています．

原文：< https://www.alexandertechniquescience.com/wp-content/uploads/2020/09/Cacciatore2020ATmodelKinesiologyReview.pdf >

用語集：< https://www.alexandertechniquescience.com/general/overview/glossary/ >

原文に忠実に訳すことを心掛けましたが、科学論文の性質上わかりにくいところもあります．そのような箇所については、補足説明を別表に作成しました．論文の参考文献については原文の References を参照してください．

補足説明：< https://alexandertechniquescience.com/wp-content/uploads/2021/07/supplm-jpnv4-finaldraft.pdf >

この日本語文書の責任は安川悦子にあります．論文の和訳および補足説明の作成に際しては，後藤篤史氏，後藤青子氏，の協力を得ました．

(Update: 2023/5/26)

Potential Mechanisms of the Alexander Technique: Toward a Comprehensive Neurophysiological Model

アレクサンダー・テクニークの潜在的なメカニズム：包括的な神経生理学的モデルに向けて

Timothy W. Cacciatore, Patrick M. Johnson, and Rajal G. Cohen

アレクサンダー・テクニーク（AT）は 125 年以上にわたって実践されてきた．その臨床的な有用性の証拠にもかかわらず，AT がどのように機能するのかについての明確な説明が不足しているのは，基礎となる考え方を検証するために必要な基礎科学が最近になって利用可能になったためである．著者らは，AT トレーニングによってもたらされる変化の中心は，ボディスキーマの変化を伴った姿勢トーンの適応性と分布の改善であり，これらの変化が多くの効果の根底にあると提案する．多くの効果の報告は，AT が空間的注意と実行過程を介してトーンとボディスキーマを変化させ，それらが低次の運動機能の要素に影響を与えることを示唆している．これらの経路に関与するために，AT は，触覚を介したコミュニケーションとともに，注意，意図，抑制を戦略的に関与させる．このアプローチの独自性は，これらの要素が織り込まれている点にある．これらの要素がどのように貢献しているかについて，AT の直接的な研究やその他の関連する現代科学の文献を参考にしながら考察する．

キーワード：身体軸，ボディスキーマ，筋緊張，筋骨格系疼痛，姿勢トーン，身体訓練

アレクサンダー・テクニーク（AT）を実践することには，さまざまな利点があるという証拠が増えている．臨床研究によって，慢性的な腰痛，首痛，膝痛などの一般的な筋骨格系の不定愁訴を緩和するのに役立つことが示唆されている(Little ら，2008；MacPherson ら，2015；Preece，Jones，Brown，Cacciatore，& Jones，2016)． AT はストレスに対する反応を改善する可能性がある(Glover，Kinsey，Clappison，& Jomeen，2018；Gross，Cohen，Ravichandra，& Basye，2019；Gross，Ravichandra,&Cohen，2019；Klein，Bayard，&Wolf，2014；Valentine，Fitzgerald，Gorton，Hudson，& Symonds，1995；Zhukov，2019）それと同時に，楽器演奏のような専門的な課題や，立ったり，歩いたり，呼吸したりするような基本的な課題での運動能力を向上させる可能性がある(Austin & Ausubel，1992；Cacciatore，Gurfinkel，Horak，& Day，2011；Cacciatore，Mian，Peters，& Day，2014；Cohen ら，2020；Cohen，Gurfinkel，Kwak，Warden，& Horak，2015；Hamel，Ross，Schultz，O’Neill，& Anderson，2016；O’Neill，Anderson，Allen，Ross，& Hamel，2015)．かなり最近の臨床レビューについては，Woodman & Moore（2012）を参照願いたい．しかしながら，これまで，AT が機能するメカニズムについての包括的な説明は不足していた（Woodman&Moore，2012)．

AT は 1 世紀にわたる歴史があるため，科学的に「時代の先を行く」ことに悩まされたていた．AT のメカニズムについての初期の研究は，現在では古くなっていることが知られている姿勢の反射モデルを参考にしたまばらな科学文献（Barlow，1946； Jones，Hanson，Miller，&Bossom，1963 を参照）に頼らざるを得なかった（Davidoff，1992)． さらに，AT の広範で多面的な性質は，単純な実験計画には適しておらず，基本的な考え方を試すために必要な基礎科学と技術が利用できるようになったのはごく最近のことである．

ここ数十年で，神経科学と心理学における我々の共通理解は飛躍的に進歩し，今では我々の理論と研究の基礎となる堅実な研究がある． 過去 15 年間で，AT の想定されるメカニズムに取り組んだ報告がいくつか公開されており(Becker，Copeland，Botterbusch，& Cohen，2018；Cacciatore，Gurfinkel，Horak，Cordo，& Ames，2011；Cacciatore，Gurfinkel，Horak，& Day，2011；Cacciatore ら，2014；Cohen ら，2015，2020；Hamel ら，2016；Loram，2013；O’Neill ら，2015），他の研究では AT の機能に関連する概念について詳しく説明している．

本論文では，AT の基礎となるメカニズムの包括的なモデルを提示する．これまでに公開された証拠に基づき，意図や空間的注意などの精神的現象は，姿勢トーンや身体の構成を安定化させる背景筋活動に影響を与え，これら姿勢トーンの変化が運動系の多くの側面に順々に影響を与えると我々は考えている． さらに，姿勢トーンとボディスキーマとの相互関係に関する幅広い研究が，AT トレーニングによる身体ベースの自己認知の変化を説明するのに役立つ可能性があると考えている．AT は痛みに影響を与え，気分にも影響を与える可能性があるが，我々のモデルでは，それらの影響は運動系の変化の下流にある（少なくとも運動系の変化と相互依存している）ことを示唆している．

我々のモデルの主な目的は，AT の汎用性を説明することであり，あるタスクで学んだことが他の活動にも引き継がれることを意味する．運動活動における姿勢トーンの役割を説明することにより，AT がどのようにしてこのような幅広い効果をもたらすことができるのかを理解し始めることができる．

AT とは何か？

人々が AT を学ぶ最も一般的な理由は，慢性的な筋骨格痛の問題を克服し，姿勢，一般的な幸福感，または熟練したパフォーマンスを向上させるためである(Eldred，Hopton，Donnison，Woodman，& MacPherson，2015)．

AT は通常，1 対 1 のセッションまたは小人数のグループやクラスのいずれかで指導される． セッションでの活動には，立ったり座ったりといった基本的な動作から，話す，歌う，歩く，走る，書くといったより複雑な動作までを含むことがよくある． AT の教師は，口頭および手によるガイドを使用して，日常の活動における姿勢の協調性，運動感覚の知覚，および機能の改善を指導する．

AT の特徴は，特定の動きを完璧にすることや，身体バランスの練習，特定の姿勢アラインメントを課すことには，焦点をあてていないことである． AT は，頭を持ち上げたり，背中をまっすぐにしたり，肩甲骨を引き寄せたり，腹筋を緊張させたりすることに力を入れる一般的な姿勢へのアプローチとは大きく異なる (American Chiropractic Association, n.d.；Harvard Medical School, n.d.；Medline Plus, 2020; National Osteoporosis Foundation, 2018; Peeke, 2015)．その代わりに，AT を学ぶ生徒は，安静時，行動を予期したとき，あるいは動作中に起こる逆効果の筋緊張や自動的な反応に気づき，それを変化させる練習を行う．活動前や活動中の姿勢や反応に注意を払う練習は，運動行動の全体的な改善，不安や痛みの軽減，自己効力感の向上につながると考えられている． AT は身体的な自己認識の精度を向上させることを目的としているが，トレーニングの焦点は，コーディネーションの細部を細かく管理しないことにある． AT は，身体の特定の部位，たとえば，頭頸部などに注意を向け，意図をもって“ノンドゥーイング（やらない)”ことで，神経筋システム全体に波及する効果があると考えられている．

AT による動きとバランスへの影響に関する報告

AT は少なくとも 2 つの主要な運動カテゴリー，すなわち運動とバランスに影響を与えることが示されている．ここでは，AT の広範な運動効果に関する証拠を簡単にレビューした後で，提案されている AT の汎用性に関するメカニズムについて考察する．

動くこと

AT が動くことに影響を与えるという証拠は，椅子から立ち上がる，歩行，呼吸，運動準備の４つの異なる運動領域から示されている．

椅子から立ち上がる． AT の教師は伝統的に生徒が椅子から立ち上がるワークを取り入れており，一部の教師はこの活動をレッスンに広く取り入れている．研究によると，椅子からの立ち上がりに対する AT トレーニングの主な効果は，前方への体重移動の間に起こることがわかっている（図 1)．AT の訓練を受けた実験参加者は，足底圧を徐々に増加させるとともに，前方への速度が比較的均一になるというスムーズな体重移動を示している．これに対して統制群の実験参加者（訳注：AT 訓練を受けていない実験参加者）は，シートオフ時に足底圧と前方速度が急激に増加する．これは統制群の実験参加者が椅子から立つという行為を前方向の勢いに依存していることを示唆している．（Cacciatore ら，2014)．これらの結果は，通常より速い（1 秒）場合から非常に遅い（8 秒）場合までのさまざまな立ち上がり運動時間の範囲で一貫していた．統制群は，方法の指示と実践のフィードバックを与えられた場合でも，AT 教師のスムーズな体重移動を真似することができなかった．更に，統制群は体重移動の間に脊椎アラインメントの変化を起こしていた．これは AT の訓練を受けた人には見られなかったものであった．AT の訓練を受けた人（図２）はほぼ等尺性の脊椎を維持していた （Cacciatore, Gurfinkel, Horak, & Day, 2011)．

歩く．　歩行に対する AT の効果を調べた３つの研究がある．ひとつは，AT レッスンの後，変形性膝関節症の患者は歩行中に膝の共収縮が減少し（Preece ら，2016），それは痛みの減少と相関していることが示された．別の研究では，高齢の AT 教師は，同年齢の統制群と比較して，速いペースの歩行中に，内側の中心質量の偏位が減少し，歩隔が有意に狭く，歩行タイミングの変動が小さいことが示された（O’Neill ら,2015）．３つめの研究では，歩行の立脚相において，高齢の AT 教師は，同年齢の統制群と比較して，体幹と頭部の動きが減少しており，足首関節の動きが増加したことが示された（Hamel ら,2016）．歩行の遊脚相（脚のスイング時）では，統制群と比較して，AT 教師は股関節と膝はより大きく屈曲しており，若年齢の実験参加者に似た協調を示した．

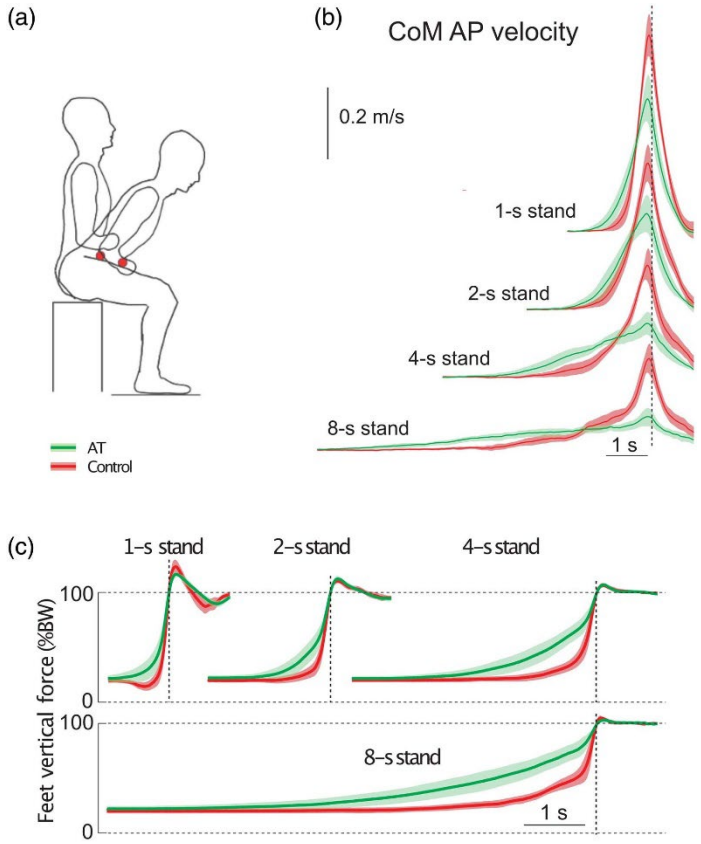

図 1–アレクサンダー・テクニーク教師群（AT）と統制群（Control）の，座位から立位への調整を示す．図（a）:実験参加者（AT10 人，統制群 10 人）は，標準化された椅子座位から一定の移動時間でできるだけスムーズに立ち上がるように求められた．足はかなり前方にあるため（シャンク角度が 10°），ゆっくりとスムーズに立ち上がるのは非常に難しくなる．図（b）:4 つの移動時間条件（1 秒，2 秒，4 秒，8 秒）における，前方（前後; AP）の質量重心（CoM）の速度を示す．両群の各移動時間条件における平均と 95%信頼区間（塗り潰した領域）を，シートオフ時（縦の破線）で合わせて表示した．移動時間は両群間に差はなかった．統制群は，2 つの遅い条件では前進速度の急激な増加を防ぐことができず，それらの遅い条件では全般的により高いピーク速度を用いていた．AT 教師は，比較的均一な前進速度でゆっくりとスムーズに椅子から立ち上がることができた．図（c）:足底の垂直方向の圧力．両群の平均と信頼区間が示されている．縦の破線はシートオフ時を表す．AT 教師は足底圧が早期に徐々に上昇したが，統制群はすべての移動時間条件についてシートオフの直前に急激に上昇した．Journal of Neurophysiology, 112(3), Cacciatore, T.W., Mian, O.S., Peters, A., & Day, B.L., Neuromechanical interference of posture on movement: Evidence from Alexander technique teachers rising from a chair, 719-729, Copyright 2014, American Physiological Society, Creative Commons から引用．

呼吸.　AT は呼吸を改善するためによく利用される．これは，音楽科や演劇科（ジュリアード学校，王立音楽院，イエール演劇学校などの名門音楽院を含む）での AT トレーニングの普及，多くの逸話的なレポート（Heirich, 2011），およびいくつかのケーススタディ（Bosch, 1997; Kaplan, 1994; Lloyd, 1986）に反映されている．さらに，20 回の AT レッスンを受けた後にいくつかの呼吸測定値に改善が見られ，統制群では改善は見られなかったという対照研究もある．特に，AT に関連した最大呼気圧，最大吸気圧，ピーク呼気流量の改善は，特定の呼吸法を練習しなくても起こる（Austin&Ausubel, 1992）．対照的に，音楽家を対象とした研究では，15 回のレッスン後に心拍数，不安の自己申告，音楽的および技術的パフォーマンスの改善が見られたものの，ピーク呼気流量の改善は見られなかった（Valentine ら，1995）．後者の研究で異なる結果が出たのは，音楽家が前にトレーニングを受けていたためかもしれない（Klein ら,2014）．

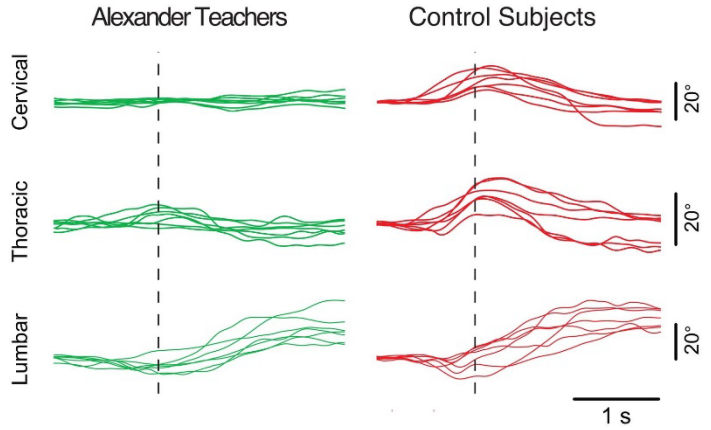

図 2–椅子からの起立における AT 教師（緑色）と統制群の実験参加者（赤色）の３種類の脊椎部位の角度変化を示す．各曲線は，個々の実験参加者のデータを表す．統制群に比べて AT 教師は，首（頸椎），胴体上部（胸椎），および腰椎の動きが，はるかに減少した．動きが起きたのは，シートオフの前後で脊椎の力が変化する期間中であることに注目のこと．胸椎と腰椎の角度は，図 5 のように計算された．Elsevier の許可を得て Gait & Posture, 34(4), Cacciatore, T.W., Gurfinkel, V.S., Horak, F.B., & Day, B.L., Prolonged weight-shift and altered spinal coordination during sit-to-stand in practitioners of the Alexander technique, 496-501, Copyright 2011, から引用．

運動の準備.　２つの研究では，AT レッスンで使用されたものと同様の教示をすることにより，運動の準備に改善がみられることが示された．Loram, Bate, Harding, Cunningham, および Loram (2016) は，バイオリンを弾きながら首の表面の筋活動を意図的に減らすことが，筋骨格系全体に有益なカスケード効果をもたらすことを実証した．対象者が視覚的なバイオフィードバックを使用して首の筋活動を減らすと，演奏パフォーマンスを妨げることなく，脚の筋活動と皮膚電気反応が減少した．別の研究では，リラックスした姿勢または努力してコア強度を高めようとするアプローチよりも，AT ベースの教示によって楽に直立した姿勢を考えることのほうが，足圧中心の軌道が滑らかになりステップ開始の制御が改善することが示された（Cohen ら，2015）．さらに，AT に基づく指導は，プッシュオフ時の後方の動きに影響を与えずに，横方向の足圧中心の動きを減少させたことから，予測的な姿勢調整の効率を改善すると考えられる．

バランス

多くの研究で，AT 指導後にバランスの改善が見られた．高齢者の対照研究において，AT レッスン後にファンクショナル・リーチが増大し（Dennis，1999），予備研究では，AT レッスンがパーキンソン病患者の標準的な臨床バランス評価も改善することが示唆されている（Gross，Ravichandra，および Cohen，2019）．さらに，AT に似た教示を使用した 2 つの研究では，静かな立位姿勢をとっているときと、短時間の片足立ちをしているときに、姿勢の揺れが減少することがわかった（図 3； Cohen ら，2015,2020）．また，単一対象者のケーススタディでは，一連の AT レッスンが自動バランス反応の改善につながることが示された（Cacciatore，Horak，および Henry，2005）．

姿勢トーンおよび AT の一般化可能性

我々は，長期にわたる AT の研究と実践の有益な成果の範囲は，ボディスキーマの変化に伴う姿勢トーンの適応性とその分布の改善によってもたらされると提案する．以下にこの考えを詳しく説明する．

姿勢トーン

姿勢の筋緊張は，単に姿勢トーンとしても知られている．姿勢トーンは，安定しながらも適応性のある背景筋活動であり，重力に対抗し，身体構成を安定させ，協調運動を組織化するために必要である(Gurfinkel ら，2006；Ivanenko & Gurfinkel，2018)．その活動は小さく，全身に広く分布しているため，歴史的には研究することが困難であった(Gurfinkel，2009)．姿勢トーンは無意識的に生成されるものであり，拳を握りしめることや“まっすぐに立つ“といった自発的に姿勢を保持することとは異なる(St George， Gurfinkel， Kraakevik， Nutt，& Horak，2018)．トーンはまた，引き伸ばされた組織や重力などの力に抵抗し，望む動きを可能にして，異なる姿勢に対応するために力に従う，という適応性がなければならない．

脊椎は中心部にあって四肢と胴体を連結しているため，軸方向の（頸部と胴体における）姿勢トーンは特に重要である．したがって，四肢間の相互作用を仲介し，四肢と胴体を機能するユニットとして調整するためには，軸を安定させることが鍵となる(Gurfinkel ら，2006)．脊椎は個々の椎骨から構成されているため，本質的に不安定であり，姿勢トーンによって安定化されなければならない(Lucas & Bresler，1960)．この安定化プロセスは複雑で冗長であり，深部対表面，内側対外側など，筋作用の異なる組み合わせや分布によって脊柱を安定化させることができる(Gurfinkel ら，2006；Moseley，Hodges，& Gandevia，2003)．重要なことは，トーンの調節には，体幹を安定させながらも可動性をもたらす方法が必要だということである(Ivanenko & Gurfinkel，2018)．

姿勢トーンは，体の部位をまたいで全体を調整する必要がある．複数の関節をまたぐ多関節筋は，体の中でも特に体軸に多く存在する．複数の関節をまたぐ筋肉が力を発揮する場合，その力は単純に共縮によって局所的に打ち消すことはできない（例えば，単一の屈筋と対になる単一の伸筋のように）．むしろ，多関節筋の不均衡な緊張によって，身体全体にその緊張が広がる可能性がある(Loram ら，2016)．このような広がりのメカニズムは，軸方向のサポート不良による脊椎のスティフネスを引き起こし，より遠位の関節のスティフネスにつながり，呼吸，バランス，および可動性に支障をきたす可能性がある．

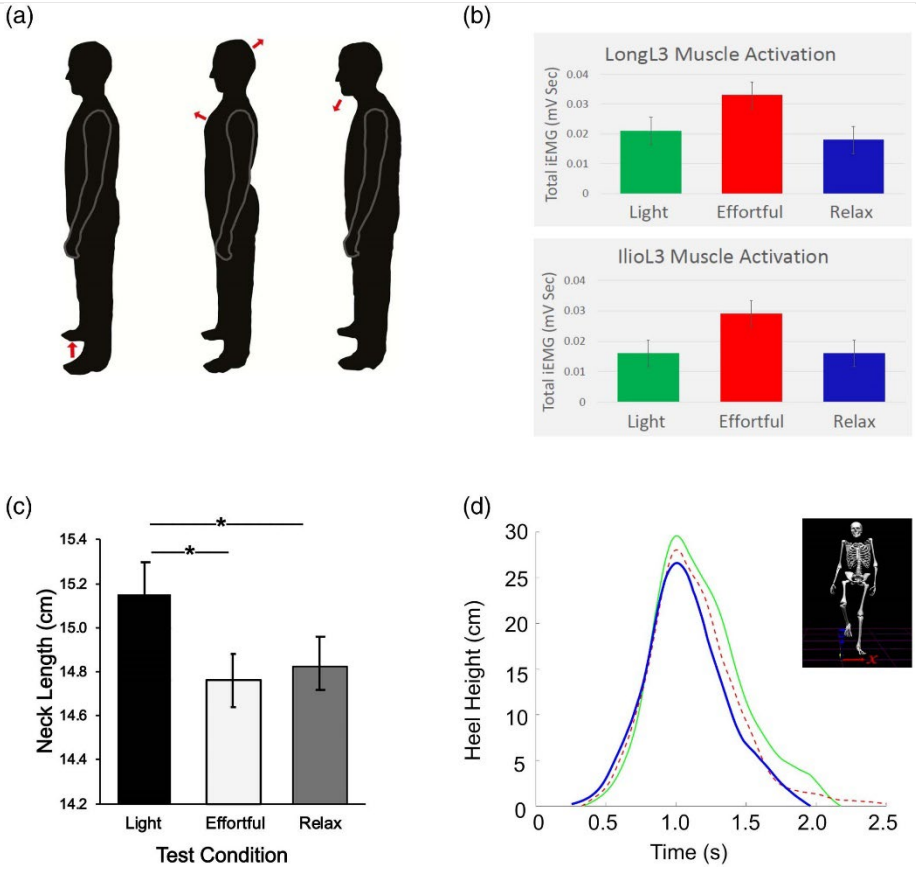

図 3–簡単な姿勢の教示が運動に及ぼす影響．図（a）Light 指示，Effortful 指示，Relax 指示による姿勢の概略図であり，2 つのカウンターバランスをとった被験者内研究で使用された(Cohen ら．2020 から引用)． 図（b）19 人の健康な高齢者の第 3 腰椎レベルでの最長筋と腸肋筋の総合筋活動は， Light 条件または Relax 条件よりも Effortful 条件の方が高かった．群内平均と標準誤差バーを示す． （Cohen ら ，2020）から引用． 図（c）20 人のパーキンソン病の高齢者において，反射マーカーで決定された肩と耳の間の直線距離は，Effortful 条件または Relax 条件よりも Light 条件の方が長く，背丈が長くなることを示唆している．グループ平均と標準誤差バーを示した．(Cohen ら，2015)． 図（d）19 人の健康な高齢者は，左足を 3 秒間持ち上げるように指示された．Light 条件（一番上の緑線）では，この目標の達成に最も近づいた．群平均を表示した．(Innovation in Aging, Cohen, R.G., Baer, J.L., Lighten up! Postural instructions affect static and dynamic balance in healthy older adults, Copyright 2020, Oxford University Press, Creative Commons.から引用)

AT は姿勢トーンに影響を与える． 我々は，AT トレーニングは姿勢トーンの分布を変化させ，トーンをより適応的にするものであると提案する．その結果，人は状況に応じて，外力に対応したり，抵抗したりすることができるようになる．

いくつかの研究では，AT が姿勢トーンの分布を変化させることが示唆されている．特に注目すべきは，AT は軸方向の筋活動を表在筋から深層筋にシフトさせるようである．これは，“通常の姿勢”，”最大の高さ”，“アレクサンダー教示”，という 3 種類の座り方を実験対象者にしてもらうことで初めて実証された．このアレクサンダー教示では，他の 2 つの条件と比較して，表層の首筋活動を減少させた(Jones, Hanson, & Gray, 1961)．より最近の証拠は，首の痛みを持つ人を対象とした研究（図 4）から得られたもので，この研究では，10 回の AT グループレッスンの後，頭頸部屈曲テストの間に表層の首筋活動が減少していた（Becker ら．2018）． これらの所見のいずれかは筋活動の全体的な低下を示す可能性があるが，また一方で，他の研究では首の深層筋と表在筋の活動が負の相関を示す傾向が示されており，トーンの分布がシフトすることを示唆している(Jull,

Falla, Vicenzino, & Hodges, 2009). 一見すると，モーメントアームが小さく，表層の筋肉よりも力が弱い深部の筋肉を活性化することは非効率に思える．しかし，半棘筋や深部多裂筋などの深部の体軸筋は，胸鎖乳突筋や僧帽筋などの表在筋よりも範囲が短く，関節をまたぐ回数も少ないため，より正確な位置や動きの制御を可能にするかもしれない．これらを統合すると，可動域が短い筋群は，より表層にある筋群よりも高い自由度をもつと考えられる（Moseley ら．2003).

AT がトーンの分布を変化させるという証拠は，姿勢アライメントの変化を観察することによって間接的に得ることもできる．未発表のデータによると，AT 教師は，年齢を一致させた統制群と比較して，静止立位時に脊椎の湾曲が減少していることが示された(図 5)．重要なことに，姿勢アライメントの変化は，典型的な AT トレーニングでは直接指示されたり操作されたりすることはない．したがって，最も可能性が高いのは，自発的にポジションを採用するのではなく，姿勢トーンの変化に起因するということである(Cacciatore ら，2005).

安定性と可動性の両方を促進するために，姿勢トーンは状況に応じて順応したり，従ったり，抵抗したりしなければならない．3 つの研究では，AT トレーニングが体軸の追随性を改善することがわかっている．この証拠は，対象者の立位での姿勢トーンを評価する装置である Twister を介して得られた（Gurfinkel ら，2006 年)．この装置は，体軸方向の領域の非常にゆっくりとしたねじれに対する抵抗を測定する．測定された抵抗は，ねじれた領域をまたぐすべての筋肉の姿勢トーンを反映している．装置はサポートを提供しないので，トーンは直立を保持することが要求される．このように，装置は姿勢トーンを測定するが，伸張反射や自発的な行動を測定するものではない．AT 教師は，統制群と比較して，首，体幹，股関節のスティフネスが半分であることが判明した(図 6; Cacciatore, Gurfinkel, Horak, Cordo, & Ames, 2011)．また，比較対照の介入にくらべて，20 回の AT レッスンを受けた後には，介入前のベースライン期間中は安定していた体幹と臀部の追随性が向上した（Cacciatore, Gurfinkel, Horak, Cordo, & Ames, 2011)．別の研究では，他の姿勢指示と比較して，AT ベースの簡単な指示の後に体幹の追随性が増加したことが示されている（Cohen ら，2015 年)．軸方向の追随性の増加は，トーンの適応性の増加を反映する（Cacciatore, Gurfinkel, Horak, Cordo, & Ames, 2011; Gurfinkel ら，2006).

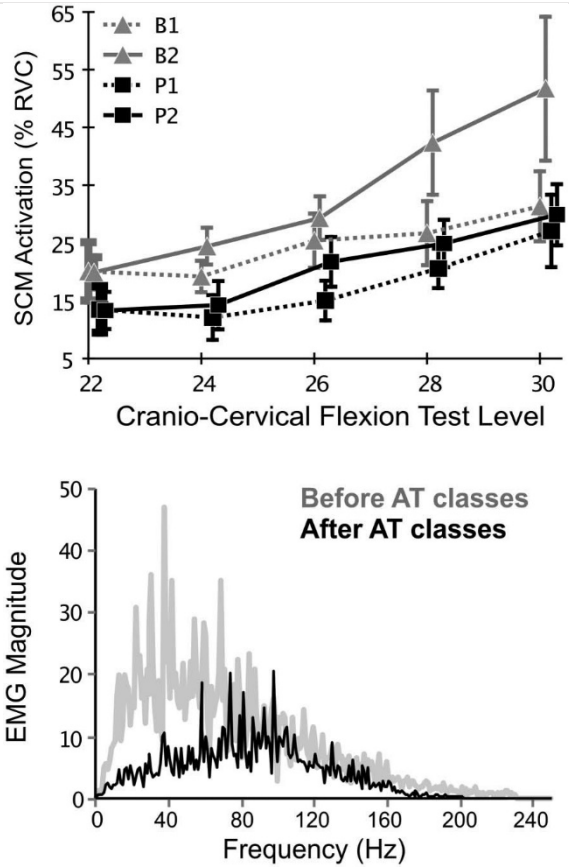

図 4 – 慢性的な首の痛みを持つ成人 10 人を対象として，アレクサンダーテクニック（AT）クラスを 10 回シリーズで実施した後に，表面の首筋活動が変化した．Becker ら（2018）からの引用．上の図は，胸鎖乳突筋（SCM）のピーク活性化を、頭蓋頸部屈曲テストの標準化された 5 つの頸部屈曲レベルそれぞれについて、基準となる随意収縮（10 秒間の仰臥位で頭を挙上）に対する割合で示している．試験は 5 週間間隔で行われた．相対的な筋活性化は，ベースラインの 2 回のセッション（B1，B2）の方が，介入後の 2 回のセッション（P1，P2）よりも高かった．グループ平均と標準誤差が示されている．下図は，同一実験参加者の 2 回の試行における SCM 活性化のパワースペクトルを AT クラス前後の同一屈曲レベルで示したものである．最大の違いは，AT クラス後の低周波活動の減少であり，これは筋疲労の減少を示唆している．Adapted from Complementary Therapies in Medicine, 39, Becker, J.J., Copeland, S.L., Botterbusch, E.L., & Cohen, R.G., Preliminary evidence for feasibility, efficacy, and mechanisms of Alexander technique group classes for chronic neck pain, 80-86,Copyright 2018,with permission from Elsevier.

いくつかの観察から，AT は意図した位置を維持するために，課せられた力を正確に打ち消す能力を向上させることが示唆されている．AT レッスンでよく見られる多くの活動は，姿勢において外圧に力をマッチングさせることを含む．これは，拮抗筋の同時収縮を介して硬直することによってではなく，動的に達成されるように見える．図 7 は，座っている AT 教師が背中にかかる予測できない力を正確に打ち消し，足を通してこれらの力を地面に伝え，静止したままにしている能力を示している．対象群の参加者は，力を正確に打ち消すことができなかった．

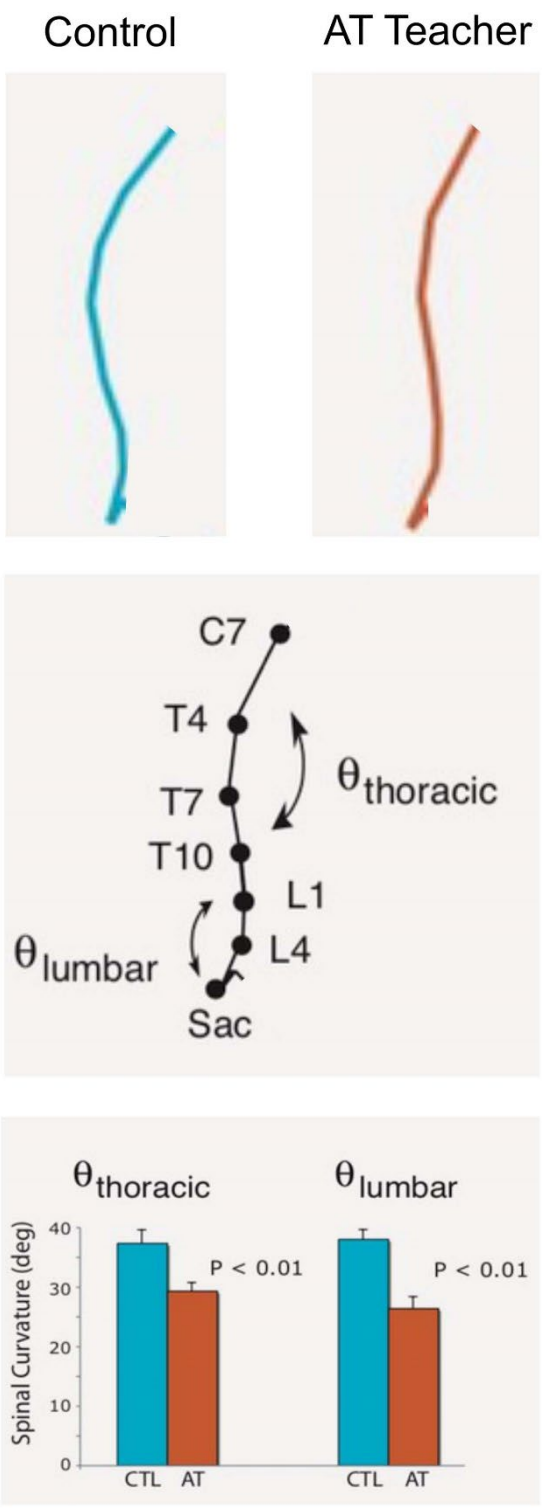

図 5- アレクサンダーの教師群と年齢が一致した統制群の静止立位時の矢状面での背骨の湾曲．実験参加者は何が評価されているかを意識していない．オレゴン健康科学大学で収集した Cacciatore と Horak の未発表データ．上）代表的な統制群の実験参加者と AT 教師の背中の湾曲．中）モーションキャプチャーマーカーの配置．下）14 人の統制群と 15 人の AT 教師の背骨湾曲の平均値と標準誤差，中央のパネルに示されている 3 つの胸椎角と 2 つの腰椎角の和として定義．AT 教師は統制群よりも胸椎と腰椎の湾曲率が低く，姿勢トーンの再配分を示している．

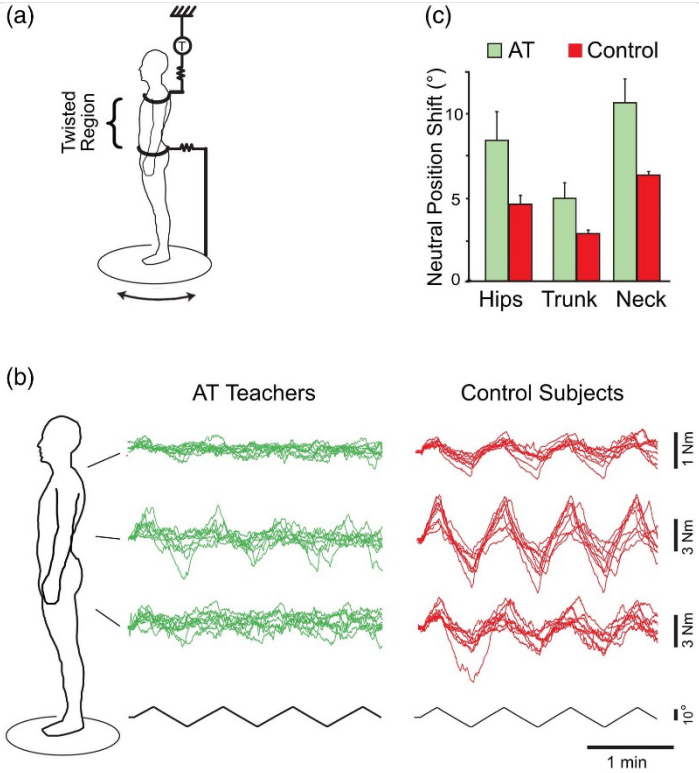

図 6- AT 教師と同年齢の対象者の軸方向の姿勢トーン．(a)姿勢トーン測定に用いたツイスター装置の図．肩と骨盤の間で体幹を捻る構成を示す．プラットフォームの回転が非常に遅い（±10°，1°/s）ため，ねじれが発生する．ヒンジによりねじれのみを安定させ，姿勢保持が必要な状態にした．ねじれに対する抵抗力をトルクセンサーで測定した．(b) AT 教師 14 人と統制群 15 人の首，体幹，腰のねじれに対する抵抗．下のトレースはプラットフォームの回転を示す．各トレースは，領域を前後に数回ねじった数分間のトライアルにおける単一の実験参加者からのトルクデータを表す．AT 教師は，より平坦なトルクトレースによって示されるように，すべての 3 つの軸方向のレベルにわたって実質的に低い抵抗を持っていた．(c) 抵抗トレースの形状から計算された，ねじれの間の中立位置のシフト．3 つのレベルすべてにおいて，AT 教師はニュートラルポジションのシフトが大きく，課された運動に対してより適応性の高い姿勢トーンを示していた．グループ平均と標準誤差を示す．AT 教師では，首と腰のニュートラルな位置は，負荷された捻りのほぼ全大きさ（10°）に適応していた．Human Movement Science, 30(1), Cacciatore, T.W., Gurfinkel, V.S., Horak, F.B., Cordo, P.J., & Ames, K.E., Increased dynamic regulation of postural tone through Alexander technique training, 74-89 からの引用．Copyright 2011, with permission from Elsevier.

おそらく，AT において力をマッチングさせる最も一般的な例は，椅子からの立ち上がりであろう．体重移動によって立ち上がること，つまり，椅子から立ち上がることは，重力が体幹を傾斜させ，大腿骨を前方に移動させることで膝と足首を屈曲させるというマッチングのタスクとして取り扱うことができる．これらの屈筋トルクと股関節，膝，背筋の伸展筋とを密接に対峙させることで，スムーズに足に重みがかかり（図 7 の状況に似ている），準静的な動作を作り出すことができる．そして，そうすることによって，勢いに頼らずに運動ができるようになる．この課題をうまく実行するには，足の上の体重の前進を妨げる過剰な緊張を防止しながら，感覚入力に合わせて伸筋を活性化する必要がある．AT 教師は，生徒の背中や首に圧を加えて動きの軌道を予測できないほど変化させることによって，レッスンの中でこのスキルを教えることができるかもしれない．そのようにすれば生徒が軌道を事前に計画することができずにマッチング戦略に頼らざるをえないようになるためである．

その他の観察結果は，AT が力のマッチングを改善するという前に述べた説を支持するものである．AT 教師の歩行における側方の重心移動の減少は，地面から身体各部分の運動学的連鎖を介した上向きの力とのマッ

チングの改善と一致する(O'Neill ら., 2015). 歩行時の側方の動きの減少はATのレッスンでも時々見られるが，これは脚の関節を一時的に安定させることに焦点を当てるのではなく，全身の姿勢状態に注意を向けることによって生じるようである.

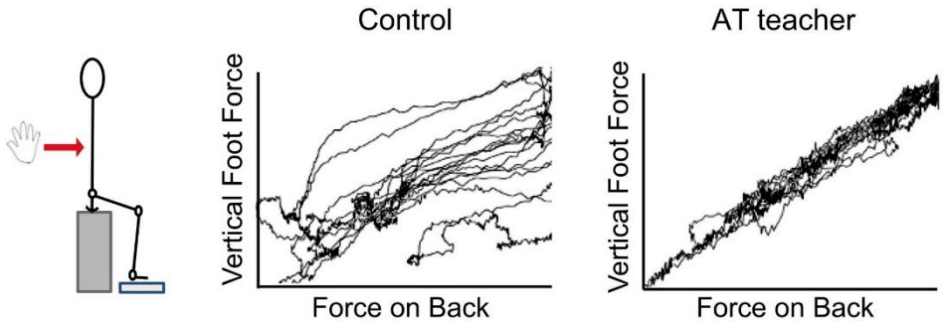

図 7–実験参加者の背中にかかる予測不可能な負荷に対する抵抗応答. ユニバーシティ・カレッジ・ロンドンの神経学研究所で収集されたCacciatoreとDayの未発表データ. 荷重は，実験参加者が力のプラットフォームの上に足を置いて座り，胴体を動かさないように指示されたときに，力変換器を使って加えられた. アレクサンダーの教師(n = 2)のデータは，足下の力と背からの力との間に強い相関関係を示しており，負荷をかけたときに密接に一致した的確な抵抗反応を示していることがわかった. 対照的に，統制群の参加者（n = 2）のデータでは，背からの力と足下の力は可変的な関係を示しており，負荷に対して遅延し的確さの乏しい安定化を示した. 圧のピークは約50Nだった.

姿勢トーンが運動やバランスに影響する. ATとトーンに関する研究が示すように，トーンの分布と適応性の変化は運動とバランスに影響する. 広義には，トーンはメカニカルな手段を介して運動行動の他の側面に影響を与える基礎的なシステムである(Gurfinkel, 2009; Ivanenko & Gurfinkel, 2018). 筋緊張は姿勢支持の基礎となるため，身体の“姿勢フレーム”を決定することで，運動とバランス調整に全般的な機械的影響を及ぼす(Cacciatore ら, 2014). トーンが高く，調整されていない場合，身体の一部分が硬くなり，その動きを妨げる.

アレクサンダーの教師が椅子から立ち上がる際のデータは，訓練を受けていない統制群と比較して，教師が様々な速度で椅子からスムーズに立ち上がるという運動の課題を解決するのに，より適応的な姿勢トーンがどのように役立つかを示している. アレクサンダーの教師の脊椎は体重移動の間は等尺に近い状態を維持しており，軸方向の力が変化するこの期間に脊椎のトルクが密接に打ち消されていることを示している(Cacciatore, Gurfinkel, Horak, & Day, 2011; 図2). しかし，椅子から立ち上がるときの脊椎の安定性は，ツイスターにおいて教師は高い追随性を示していたため，脊椎のスティフネスが原因であるとは考えにくいといえる. したがって，AT教師の脊椎が，体重移動する間にほぼ等尺であったことについては，変化する軸方向の力に動的にマッチした結果であったと推測することができる. 対照的に，統制群では，脊椎のアライメントは大きく変化したが，股関節と膝のスティフネスが大きい可能性があった. 生体力学のモデルによれば，対象群が椅子からスムーズに立ち上がろうとしても，トーンに関連した股関節と膝のスティフネスが，重心が脚に向かって前方向へ移動することを妨げていると説明できることがわかった（Cacciatore ら, 2014).

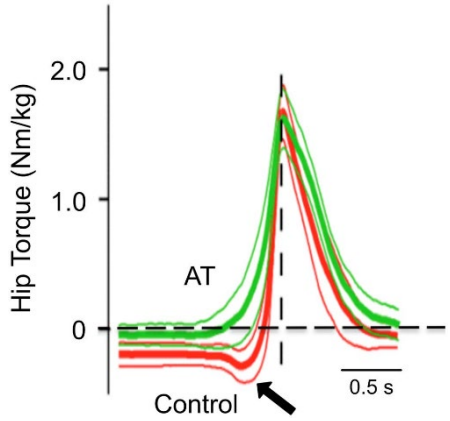

図 8- AT 教師と統制群における 1 秒で椅子から立ち上がる間の正規化された股関節トルク．Cacciatore ら（2014）のデータを逆動力学法から計算したもの．正は正味の伸筋トルクを，負は正味の屈筋トルクを，破線の垂直線はシートオフを示す．各グループの平均値と 95%信頼区間を示す．統制群だけが体幹を前方に推進するために動作の開始時に股関節屈筋トルクを使用していることに注意（黒矢印）．AT 教師達は股関節屈筋トルクの使用を避けており，力のマッチング戦略を使用していることを示唆している．(AT = アレクサンダー・テクニーク)

椅子から立ち上がる課題では，AT 教師は統制群と比較して，異なる運動速度においてほぼ同様の変化を示しており，足圧の上昇が早くから生じ，緩やかであり，前方への速度のピークが遅くなった．興味深いことに，最速の運動（目標速度が達成できない場合）では，対象群の実験参加者は股関節の屈筋を採用して体幹を前方に推進することで運動を加速させたのに対し，AT 教師は伸筋が作用する方向の運動のみを示した（図 8）．このことは，高速であっても，AT 教師は，足の上で体重を移動してから立ち上がるために屈曲するという事前に計画された運動戦略ではなく，マッチング戦略を用いていることを示唆している（Cacciatore ら，2014）．特に，すべての条件（例えば，図 1）において，AT 教師の垂直方向の足圧の早期かつスムーズな上昇は，彼らが体重移動する間に密接に重力に対抗していたことを示している．これらの結果は，AT 教師が姿勢システムの適応的な使用によって，異なる速度で椅子からスムーズに立ち上がるという運動課題を解決していたことを示唆している．

一般に体軸は，運動動作と共存するために継続的な姿勢支持を必要とする．内在筋で体幹を適切に支持できないと，より長く遠位の筋肉を動員して支持することになり，それにより，四肢の筋肉に緊張が広がることで四肢の運動を妨げる可能性がある（Loram ら，2016）．AT 教師の歩行では体幹運動は減少したが四肢運動は増加したという Anderson らの結果は，AT がより深い軸方向の姿勢支持の改善につながり，それによって，下肢関節運動を妨げる四肢の筋肉への緊張の広がりを防ぐ，という仮説と一致している(Hamel ら，2016)．また，AT に基づいた姿勢指導によってステップ動作開始時に改善が見られることは，より良い軸方向姿勢支持によって四肢の動作が改善されたことと一致している(Cohen ら，2015)．

姿勢トーンの適応性もバランスに影響を与える可能性がある．スティフネスの増加はバランスの安定性を改善すると考えるかもしれないが，バランスのバイオメカニクスは複雑であり(Latash，2018)，実際にはスティフネスは有害であることがわかっている．健康な対象者では，スティフネスの増加は静的バランスと動的バランスの両方を損なう(Nagai，Okita，Ogaya，& Tsuboyama，2017；Nagai ら，2013；Warnica，Weaver，Prentice，& Laing，2014；Yamagata，Falaki，& Latash，2018)．パーキンソン病患者では，Twister によって評価されるように，首（Franzen ら，2009 年）と股関節のスティフネスの高さ（Wright，Gurfinkel，Nutt，Horak，& Cordo，2007 年）は，バランスおよび運動能力の低さと相関していた．このことは，軸方向の緊張がバランスに関連した活動に影響を与える可能性があることを示唆しているが，それは主に四肢による動きであ

る．手足を動かすことによって相互作用トルクが生じたときに，脊椎を安定させることに失敗すると，バランスが損なわれる可能性がある．したがって，良好なバランスをとるためには，このような相互作用トルクを打ち消すために，軸方向の緊張を正確に調節する必要があるかもしれない．

ボディスキーマ

ボディスキーマとは，運動を計画して実行する際に運動制御システムが頼りにする身体の内部表現の集まりである．行動を計画するために，運動システムは，異なるソースからからくるノイズの多い感覚情報を，現在の身体形状の首尾一貫したモデルに統合する（Gurfinkel, 1994; Head & Holmes, 1911; Medendorp & Heed, 2019）．このモデルには，可能な位置や動きの範囲も含まれている必要がある．ボディスキーマは，姿勢，運動計画，および実行のために中心的な参照枠として使用されるので，その正確さ，精度，および運動システムとの統合は，広範な運動効果を持つ可能性が高いといえる(Haggard & Wolpert, 2005; Ivanenko ら., 2011).

姿勢トーンとボディスキーマは，どちらも行動のような連続的なプロセスではなく神経生理学的な状態を対象としている点で類似しており，どちらも運動行動全般に影響を与えるのに特に適しているといえる(Gurfinkel, 2009; Ivanenko & Gurfinkel, 2018; Medendorp & Heed, 2019). Gurfinkel らは，トーンとボディスキーマは一緒に働いて姿勢の組織を支配し，運動とバランスの基礎を提供すると提案した(Gurfinkel, 1994; Gurfinkel, Ivanenko Yu, Levik Yu, & Babakova, 1995; Gurfinkel, Levick, Popov, Smetanin, & Shlikov, 1988).

ボディスキーマの変化もまた，トーンの適応性の変化の根底にある可能性がある．例えば，Twister の場合，体幹が 1 つまたは 2 つの大きなブロックとしてしか表現されていない場合，運動システムは，微細な感覚情報入力を解釈してトーンの分布を正確に変調して応答できるだけの十分に詳細なモデルを持つことはないであろう．（Cacciatore, Gurfinkel, Horak, Cordo, & Ames, 2011; Cohen ら., 2015). 逆に，トーンが硬くて区別されていなければ，体幹は 1 つまたは 2 つの多関節ブロックとしてしか動かないので，体幹がボディスキーマの中でどのように表現されるかに影響を与える可能性がある(Gurfinkel, 1994).

ボディスキーマを理解する一つの方法は，身体の詳細な参照マニュアルに例えて，運動システムが必要に応じてその全部または部分に参照するところを考えてみることである．何らかの理由で，運動システムが参照マニュアルの必要な部分にアクセスできない場合，運動システムの出力は精度が低くなる(V.S. Gurfinkel, personal communication, 2003).

AT がボディスキーマを変化させるという直接的な証拠はないが，いくつかの事例から，AT の実践との関連性が示唆されている．例えば，AT のレッスンでは，一般的に身体とペリパーソナルスペースへの注意を用いてトーンに影響を与えることはよく行われることであり，生徒が AT のレッスン中に自分の身体の構造に対する認識の変化を報告することはよくあることである．我々が AT 教師にボディスキーマを評価するためのプロトコルを説明するとき（例えば，Parsons, 1987），これらのボディスキーマのタスクは，AT で使用される空間的注意に似ていることが広く認められている（2016 年から 2020 年までの一連のワークショップで 100 人以上の教師に非公式にサーベイしたもの）．最後に，慢性的な腰痛や手の痛みはボディスキーマの欠損と関連しており，ボディスキーマの改善が AT で痛みが軽減することの要素である可能性を示唆している(Gilpin, Moseley, Stanton, & Newport, 2015; Moseley & Flor, 2012). ボディスキーマ，姿勢トーン，および運動制御の互いの関連性については，AT 指導によるボディスキーマの変化についての興味深い研究の可能性を示唆している．

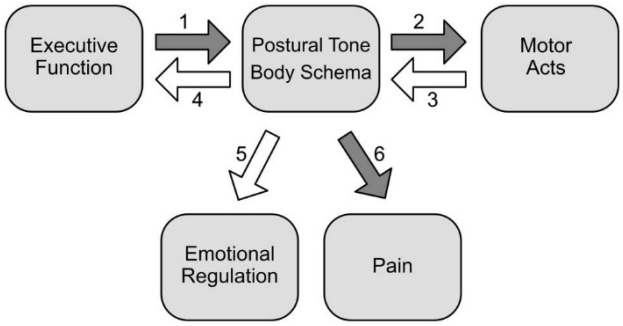

図 9ー提案された AT のモデル．姿勢トーンとボディスキーマがこのモデルのハブとなる．灰色に塗り潰された矢印は，AT に関する公開されたデータで裏付けられた関係を示す．白抜きの矢印は，AT に直接関係のない実験で裏付けられた関係を示す．説明は本文を参照のこと．

AT メカニズムのモデル

我々が提唱する基本モデルを図 9 に示す．このセクションでは，基本モデルの要素となる各ブロックを説明し，それらの相互作用について矢印の番号順に説明する．姿勢トーンは（おそらくボディスキーマとの相互作用の中で）基本モデルの中心的なブロックとして位置づけられる．この図が示すように，AT では，空間とボディスキーマの現象がトーンと深く絡み合っていると考えられている．トーンの変化は，身体の構造化された組織に対する知覚の変化につながり，身体知覚の改善はさらなるトーンの改善を促進する(Loram, 2013; Loram 2015)．塗り潰された矢印は，AT の直接的な研究を含むエビデンスを示している．白抜きの矢印は，関連する科学領域におけるエビデンスの土台を示しており，AT との関連性を確立するためには今後の研究が必要である．

我々は，AT において身体の軸が中心的な役割を果たしていると提案する．なぜなら，体軸領域の姿勢トーンが重要な機能を持っていると考えるからである．つまり脊椎の不安定性および脊椎が中央に位置していることが，体軸のトーンが四肢間の相互作用を取持つ必要があることにつながると我々は考えている．脊柱の深部の筋は，力に対抗するために特に重要な場合がある．なぜなら全体として考えると，より短いスパンのほうが自由度が高いためである．(Moseley ら，2003)．また，脊柱の深部の筋は，運動する際に安定した基盤をもたらし，四肢への好ましくない緊張の広がりを最小限に抑えながら，頸部と体幹を内在的にサポートする．体軸のトーンを適応させることができないと，全身の動きが制限され，ぎこちなかったり，不快感があったり，動きがうまくコントロールできないことがある．そのような不具合を修正することは，幅広い利益をもたらす可能性がある．頸部は脊椎の最上部で頭部の近位に位置し，頭部の方向付けに直接的な役割を果たす．よって，頸部は特に重要であると考えられる（Loram ら，2016)．

このモデルでは，姿勢トーンが，実行プロセス，運動行動，感情の調節，痛み，それぞれとの相互作用を持つことを提案する．

矢印 1

このモデルの最初の矢印は，アレクサンダーの学習と実践において、実行機能が姿勢トーンに及ぼす影響を示している．これに含まれるのは，注意を姿勢トーンとボディスキーマに方向づけるプロセス，筋肉の活性化の自動的なパターンを防ぐために運動の計画と実行を抑制的にコントロールするプロセス，姿勢について意図し

たことからのずれをモニターするプロセスである.

AT における“方向づけ”のプロセスは，姿勢トーンとボディスキーマおよび空間認識に対して，特定の意図を用いることが含まれる．AT に基づく指示により起こるトーンの変化は，実行機能がトーンとボディスキーマに影響を与えることを示唆している(Cohen ら. 2015, 2020).このプロセスは，運動学の科学者が筋感覚的運動イメージと呼ぶものと関連している可能性がある（Chiew, LaConte, & Graham, 2012). しかし，そのような研究の多くは，望ましい姿勢状態についての心的表現よりも，むしろ明白な運動についての心的表現を調査している（c.f. Gildea, van den Hoorn, Hides, & Hodges, 2015).

AT における“抑制する”というプロセスは，安静時であれ，予測している時であれ，行動中であれ，不必要な緊張をしないかまたは防止することを指す場合がある．レッスンでは，マッチング戦略を使って椅子から立ち上がるときのように，アクションの計画を予防することを指す場合もある．また，AT の抑制のプロセスは，より一般的で意図的な神経系の鎮静化を指す場合もある（Rootberg, 2018 の John Nicholls を参照).

矢印２

モデルの 2 番目の矢印は，運動の行為が姿勢トーンとボディスキーマによってどのように影響を受けるかを示している．一般的に，過剰なスティフネスは関節の動きやバランスを阻害するため，トーンは可動性に影響を与える(Cacciatore ら, 2014; Warnica ら, 2014). 局所的なスティフネスは重要かもしれないが，その広がりも重要であろう．例えば，椅子から立ち上がるときに胴体の支えが不十分であれば，過剰な脚の緊張を引き起こし，胴体の前進運動を妨げるであろう．特に脊椎に沿って外力に対抗することで，椅子からの立ち上がりやダンスで脚を持ち上げるなど，運動課題を準静的に行うことができるようになる．さらに，望ましくない先立つ緊張を防ぐことで，動きやバランスが改善される（Cohen ら，2015 年，2020 年；Loram ら，2016 年).

ボディスキーマは動きに直接的に影響を与えることがある（トーンへの影響を介する以外に).ボディスキーマの変化は，動作計画で使われる身体の参照に影響を与える．例えば，アレクサンダーの教師は，股関節の位置を知覚的に理解することを助けることが多く，それにより，特にウエストから身体を曲げていた生徒は脚の関節の屈曲が容易になる．更に，生徒が痛みや怪我のある関節や筋肉を使わないようにすることで，これらの部位の表現や機能性が低下してしまうこともある．このような“失われた”領域に注意を向けて身体全体の組織との関連性を高めることによってボディスキーマを改善すると，以前は関与していなかった領域が再び動きに関与するようになる可能性がある.

矢印３

モデルの矢印３は，運動行動が姿勢トーンに及ぼす影響を示す．例えば，AT におけるチェアワークは，特定の動きの軌跡で立ち上がることを学ぶものではない．特定の制約のある動作課題を行うことは，姿勢の状態についての情報を伝えるとともに影響を与えるように作用する．例えば，スムーズな体重移動で立ち上がるには，背中や脚の伸筋が調和して適応する必要があり，それによって，トーンの広がりや適応性を訓練するようにも作用する．Loram らの研究(Loram ら, 2016)は，運動制約が姿勢にどのように影響するかの別の例を示している．バイオリンを演奏している時の首の緊張を最小限に抑えるために指示とバイオフィードバックを行ったところ，筋肉運動の協調が変化した．その変化は首をはるかに超えて姿勢に役割を果たす他の領域にまで広がった.

矢印４

モデルの矢印４は，姿勢トーンの変化が実行機能に及ぼす影響を示す．この主張を裏付ける証拠として最近の予備研究がある．この研究では，一連の AT クラスを受けた後，ストループ課題(抑制性コントロールの指標)のパフォーマンスが向上し，逆順の数唱の桁数 （ワーキングメモリの指標)が増加した （Gross， Ravichandra, Mello, & Cohen, 2019)．別の研究では，この同じ抑制性コントロールのテストのパフォーマンスが習慣的な姿勢や実行機能と関連していることがわかった．習慣的に首が前に出た姿勢の若年成人達は，より中立的な首の姿勢の人達に比べて，ストループ課題の結果が悪く，マインドフルネスのレベルを低く自己申告した(Baer, Vasavada, & Cohen, 2019)．決定的なものではないが，これらの結果は，AT を学ぶために使用されるスキルが，実行機能と気づきの改善につながる可能性を示唆している．

矢印５

モデルの矢印５は，姿勢トーンが感情調節に及ぼす影響を示す．(感情状態はトーンに影響を与えることが知られているが，これは一般的な現象であり，ここでは取り上げない．） 感情調節に対する AT の効果については，いくつかの説明が考えられる．一つの可能性は，胸部，腹部，背中の緊張を（体軸を崩さずに）適応させたり低下させたりすることで，より深く，よりゆっくりとした呼吸ができるようになり，慢性的に過剰に活動している交感神経系の活性を低下させることが考えられる（Breit.Kupferberg, Rogler, & Hasler, 2018; Jerath, Crawford, Barnes, &. Harden, 2015)．もう一つの可能性は身体化認知に基づくものであり，すなわち感情の体験が，筋緊張の感覚を含む身体感覚の解釈に依存していると主張するものである．したがって，冷静である，警戒している，自信がある，といったことに関連する姿勢パターンをとることが，それらの感情を促進するというのはもっともらしいと思われる(James, 1894; Winkielman, Niedenthal, Wielgosz, Eelen, & Kavanagh, 2015; Osypiuk, Thompson, & Wayne, 2018)．最後に，最近の証拠によれば，AT の中心でもある体軸の運動領域が，ストレスに対する副腎応答の調節に大きな影響を及ぼす可能性があることが示されている(Dum, Levinthal, & Strick, 2016)．

矢印６

モデルの矢印６は，姿勢トーンが痛みに及ぼす影響を示す．AT の痛みに対する有効性を示した臨床試験のほとんどは，そのメカニズムを調べていないが，これまでの予備的な証拠によれば，姿勢トーンが AT 関連の痛み軽減についての要因である可能性を示している．小規模な研究では，AT レッスン後に頭頸部屈曲テストを行ったところ，首筋の活動が表面から深部へ移行し，頸部痛の減少と関連していることがわかっている（Becker ら，2018)．別の介入研究では，AT レッスン後の歩行中の膝の共収縮の減少が，変形性膝関節症患者の膝痛の減少と相関していることが示された（Preece ら，2016 年)．この研究では，痛みを予測する脳活動に変化がなかったことが示されており，一般的な治療作用といった中枢性の処理ではなく，姿勢トーンが AT による痛みの低減の根底にあるという考えを支持していることに注意してほしい．

根底にある神経メカニズムの可能性

姿勢トーン，ボディスキーマ，実行機能，運動，バランス，予測的緊張，マッチング，広がりなどの AT に関連する現象は，ほぼ確実に広範囲の脳構造とプロセス処理過程におよんでいる．これらは姿勢状態に対するフィードフォワードとフィードバックの影響に大別される（図 10）．これらの現象のいくつかの神経基質について，特に姿勢トーンのコアとなる要素については，それ自体が十分に理解されていない．現在までに AT に関連した神経活性化の測定結果が 2 件しか報告されていないため，AT の神経基盤について推測するのは時期尚早のように思われる(Preece ら.，2016;Williamson, Roberts, & Moorhouse, 2007)．しかし，このような注意点を念頭に置いて，我々のモデルを神経構造に関連付けることは有益であると考えられる．

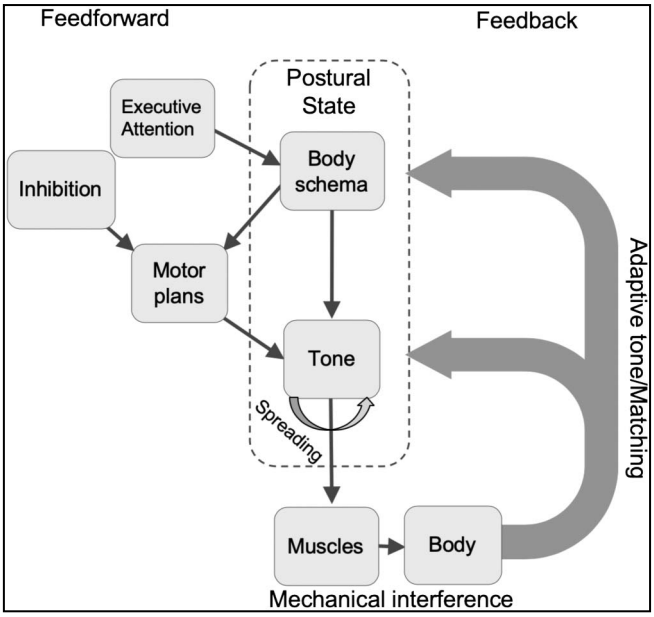

図 10―アレクサンダー・テクニークに関連する姿勢の状態に対するフィードフォワードとフィードバックの影響．姿勢トーンとボディスキーマはこのモデルの中核を形成している．図の左側は，姿勢トーンとボディスキーマに関する実行注意，抑制，および運動計画からのフィードフォワードへの影響を示している．右側は，感覚受容器からの姿勢状態に関するフィードバックの反映を示している．トーンの適応と力のマッチングは，フィードバック経路を介して発生する必要がある．トーンの広がりは中央に示されているが，神経機構的なフィードバック経路を介して起こる可能性もある．詳細な説明は本文を参照のこと．

我々は，AT の多くの側面が，トーンを調節する（tonogenic）構造と関連する経路に影響を与える可能性が高いと考えている．例えば，AT が空間的注意を介してトーンの順応性や広がりに及ぼす影響は，ボディスキーマに関わる前頭-頭頂経路を介して発生し，脳幹などのトーンを調節する脳領域に投影される可能性がある．実行プロセスは，帯状皮質が関与する前頭-線条体ループを介したフィードフォワードのアクションを行うときに，トーンに影響を与える可能性がある．力に対する適応性やマッチングを促進するトーンの調節は，脳幹，運動前野皮質，頭頂葉皮質などの様々な脳の階層や構造を経たフィードバック経路を介して起こる可能性がある．また，トーンをマッチングするプロセスの形成には，感覚運動の脳のリズムが関与している可能性もある．本研究では，まず，姿勢トーンとボディスキーマの神経制御について概説し，その後，様々な脳経路が AT 現象の文脈でこれらにどのように影響を与えるかを検討する．

脳幹および中枢によるトーンの調節

トーンの調節はあまり理解されていない．現代の説明では，反射中心のモデルから離れて，脳幹，大脳基底核，前庭神経核や小脳などの他の構造からの複雑な中枢神経系による調節を伴うモデルへと移行している(Davidoff, 1992)．脳幹の神経積分器は，より一過性の信号からトーンの持続的な活動を生成するための基本的な役割を果たしている可能性がある(Shaikh, Zee, Crawford, & Jinnah, 2016)．AT について利用可能な唯一の脳スキャンデータは，単一実験参加者におけるパイロット研究（Williamson ら，2007）から得られたものであり，トーン調節に関与する脳幹領域での活性を発見した（Mori, Kawahara, Sakamoto, Aoki, & Tomiyama, 1982; Takakusaki, Chiba, Nozu, & Okumura, 2016)．このように AT は，高次の注意領域から脳幹のトーン調節を行う領域への接続を介して，トーンに影響を与えている可能性がある．一般に，身体の軸の領域は四肢を制御する領域とは異なる脳経路によって処理されており，これが AT において体軸のトーンが特殊である理由を部分的に説明している可能性がある(Lawrence & Kuypers, 1968)．末梢系のフィードバックループはトーンの調節に貢献するに違いないが，中枢系の制御によってスキルの学習が可能になる．分散性，適応性，筋組織全体への広がりといった姿勢トーンのさまざまな側面は，AT が作用する可能性のある複雑なパレットを提供している．

トーンを筋肉の緊張状態ではなく準備状態として概念化することは，AT を理解する上で意義のあることだと思われる．Bernstein (1967)が，音楽家がバイオリンのネックに弦を押し付けることを準備状態として例えたことは有名であるが，これは音を決定するものの弓を引くまでは音は出ないからである．この準備状態としてのトーンという概念により，あらかじめ準備されたトーン状態に応じて，外力に自動的に抵抗あるいは適応する身体の能力を説明できるかもしれない．例えば，AT 教師が椅子から立ち上がる準備をするために前傾するとき，脊椎にかかる力が正確につり合うのは，動作が始まる前のトーンによる軸サポートとフィードバックループの組み合わせによるものかもしれない．

感覚運動野のフィードバックループ

トーンが外圧に順応することと，トーンを外圧とつり合わせることは，どちらもフィードバックループを介して感覚情報を取り入れる必要がある．しかし，この 2 つのプロセスは，ある点で根本的に異なる．順応することは身体の位置の変化をもたらすのに対して，力をつり合わせることは位置を同じに保つか，あるいは，僅かな加速度でゆっくりとした変化をもたらす．

追随性の適応． 力に追随した適応は身体に加えられた力を取り除いた後も持続する姿勢の変化を引き起こすため，その影響を受け続けるためのフィードバックループは，トーンのセットポイントを変更しながらトーンを調節する脳領域に収束する必要がある．追随するトーン調節は，伸長あるいは短縮する反応を介して起こり，筋肉が長くなる時はその活動が減り，筋肉が短くなるときは活動が増える（Gurfinkel ら，2006; Sherrington, 1909)．この適応を生み出す経路はわかっていないが，プロセスの長い潜時と変動性は，大脳皮質性の関与と一貫性がある(Miscio, Pisano, Del Conte, Colombo, & Schieppati, 2006)．追随性は一時的に高まることがあり，Kohnstamm の手順(Gurfinkel ら，2006)はその例である．腕を壁に向かって外側に 1 分間押し付けて，それが楽に浮き上がるのを観察するというこの幼少期のゲームは,適応性のあるトーンを引き起こす(Gurfinkel ら，2006)．このように，AT は Kohnstamm のようなプロセスに関与している可能性があり，運動行動に寄与する脳

幹と脊髄回路の特定の領域を選択的に上方に制御している可能性が考えられる（Ivanenko ら，2017）.

抵抗性の適応.　追随性の適応とは対照的に，AT における力のマッチングはトーンのセットポイントを変更する必要は無いため，その他の安定化プロセスを介して起こる可能性がある．よって椅子から立ち上がる際中の伸展筋の活動の増加はトーン調節の機構からの出力の増加に由来する可能性がある一方で，その活動の増加は身体を変形させないようにする意図を必要とするような他の経路に由来する可能性もある．頭頂皮質，一次運動野，小脳を介したフィードバックループが関与している可能性がある.

運動野ではトーンの活動は比較的まれであるが(Shalit, Zinger, Joshua, & Prut, 2012)，感覚運動リズムを介して大脳皮質が参加している可能性がある．感覚運動リズムの中には，大脳皮質の活動を筋肉と結びつけて脳と筋肉のコミュニケーションを敏感に促進するものがある(Oya, Takei, & Seki, 2020)．感覚運動リズムの強化は，随意的に姿勢を維持するときに筋肉のトーンを活性化することに寄与する(Kilavik, Zaepffel, Brovelli, MacKay, & Riehle, 2013)．この筋の活性化は任意の意図に依存するため，姿勢トーンの定義には合致しないが，AT レッスンで説明したマッチングプロセスに関連している可能性が考えられる.

安定化は，脳が事前に力を予測できる場合には，フィードフォワード機序によっても起こる．このようなフィードフォワード機序は，歩行前に頭を前に引くなど，行動が起こる前に生じる準備活動に関連している(Baer ら，2019)．加えて，指で叩く準備をすると，指の動きが起こる前に，腕から背中に向かってずっと予測性の安定化が起こるが，その理由は，身体の中心に近い領域の安定化なしに指を叩く筋肉を活性化すると，手首や腕の角度の望ましくない変化につながるからである(Caronni & Cavallari, 2009).

前頭葉回路，抑制，および　ボディスキーマ

豊富な研究により，側頭頭頂接合部を含む頭頂皮質がボディスキーマに重要であることが実証されている(Di Vita, Boccia, Palermo, & Guariglia, 2016)．頭頂皮質は身体周辺の空間表現にも関与しており，身体関連の単語によって活性化される(Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996; Rueschemeyer, Pfeiffer, & Bekkering, 2010)．このように，身体との空間的な関係性あるいはペリパーソナルスペース に注意を向けることは，AT の“方向付け”のように，ボディスキーマ領域を含む前頭頂部ネットワークに関与している可能性がある.

頭頂皮質は，AT に関連する可能性のある他の機能にも参加している．例えば，大域的な運動抑制と選択的身体領域の運動抑制の両方に関与している（Desmurget ら，2018; Kolodny, Mevorach, & Shalev, 2017)．この頭頂機能は，空間的注意と身体意識を組み込んでいるため，AT 教師が説明する“身体化された”抑制と関連している可能性がある．対照的に，実行抑制は一般的には身体的注意に関連するものとしては説明されていない(Aron, 2011)．頭頂皮質はまた，自分の行為をコントロールしているという認識である主体感にも関与している(Glover ら，2018).

最近の研究では，痛みが感覚皮質と運動皮質の体部位局在地図を変化させることが示されている．例えば，頸部の大脳皮質表現は，頸部痛を繰り返す人では部分的に変化する（Elgueta-Cancino, Marinovic, Jull, & Hodges, 2019)．さらに，反復的な感覚経験は，時間の経過とともに感覚処理を混乱させ，身体の歪んだ脳内表現を引き起こす可能性がある．これは，局所的な手指ジストニアにつながる可能性がある(Byl & Melnick, 1997; Loram, 2015)．身体表現に対処することは，疼痛にプラスの効果があることが示されている(Moseley & Flor, 2012)．これには，身体の脳内表現の修正が関与している可能性がある(Loram, 2015).

視床前野回路，ベータリズム，運動計画

ボールを蹴る，キーボードを打つ，ドアを開けるなどの行動計画は，前頭葉ループを介して運動野，補足運動野，大脳基底核で生成される．この回路は，サブコンポーネントからの運動計画の初期組み立てや，計画の選択，起動，停止，または実行の抑制に関与している．大脳基底核は，脳幹との接続を介して筋緊張にも影響を与える（Martin, 1967; Takakusaki ら，2016）．したがって，この回路は，教授が講義のために演壇に近づくときに感じる準備的な緊張など，トーンに望ましくない変化を誘発することに寄与している可能性がある．このことから，特にトーンが運動計画と関連している場合には，トーンの問題を是正するために同じ回路が関与していると考えられる．

大脳基底核と感覚運動皮質の脳リズムは，力のマッチングがより適切な反応である場面において行動計画の抑制に寄与する可能性がある．ベータリズム（13～30Hz）は静的な姿勢を維持し，運動計画の起動を妨げると考えられている（Kilavik ら，2013；Solis-Escalante ら，2019）．したがって，ベータリズムを増加することは，運動計画の起動を阻害し，マッチング戦略の使用を容易にする可能性がある．

AT が前頭葉回路に関与するという考えの背景は，パーキンソン病（大脳基底核と他の脳領域に影響を与える神経変性疾患）の患者は，姿勢トーンの調整，実行機能，運動計画/準備，およびボディスキーマに特有の欠如が観察されたことからきている（Amboni, Cozzolino, Longo, Picillo, & Barone, 2008; Cohen, Horak, & Nutt, 2012; Moustafa ら，2016）―これらの機能は明らかに AT によって対処されている．エビデンスは，AT がパーキンソン病の人々に有用であることを示しており，これは，AT が，パーキンソン病で障害される前頭葉回路などの領域を標的とする可能性があることを示唆している（Gross, Ravichandra, & Cohen, 2019; Stallibrass, Sissons, & Chalmers, 2002）．

前頭前野，帯状皮質，実行機能

AT のレッスンでは生徒の目標設定や意思決定が求められるため，実行機能に関連する脳領域が関与していることはほぼ間違いない．前頭前野の複数の小領域は，目標設定，意思決定，プロアクティブな抑制のコントロールに関連している(Aron, 2011)．さらに，帯状皮質は，意図した結果からの逸脱がないかどうか環境を監視し，修正反応を活性化することに関与している(Pearson, Heilbronner, Barack, Hayden, & Platt, 2011)．

AT におけるハンズオン指導の性質に関する推測

AT は手を使わずに教えることができるが，AT 教師の訓練では特定の形式での手による接触が培われており，1 対 1 のレッスンでは通常，何らかのタッチが含まれている．これは，教師が生徒の体の特定の部分（胸郭や背中の上部など）に手を当てて，生徒の注意をそこに向けるという単純なものである．しかし，ほとんどの生徒は，AT 教師のハンズオンには，どこに接触するかという場所の選択だけではなく，何か“特別なもの”があることに同意している．理想的には，アレクサンダーの教師の姿勢トーンは，軸に沿った運動系から手足に向かって適応的に分散され，手が“掴んだり”あるいは“押したり”しないように，また“リラックスして”いないようにする．機械的な観点から見ると，これはある種の弾力性を与えるかもしれない．熟練した教師は，生徒のトーンの組織化を容易にする洗練された方法で，抵抗と適応性を意図的に組み合わせることができる．生徒にとっては，実際の接触の圧が非常に軽くても，手はサポートしてくれているように感じられ，ガイドされ

ているように感じられる．このような手の接触の質は，社交ダンスの達人や太極拳や合気道などの“ソフト”な武道の修行者にも見られる．

教師の経験からの逸話的証拠から，ボディスキーマが部分的に AT での手の接触の基礎になっている可能性を示唆している．教師はこの接触を通して，生徒の身体の構造や筋肉の緊張を含むようにボディスキーマを拡張しているように思われる．これは，霊長類が道具を取り入れるためにボディスキーマや空間感覚を拡張するという確立された現象と関連していると考えられる（Iriki ら,1996）．我々は，AT 教師の豊富な経験が，ヒトの形と複雑な運動の構造をボディスキーマに取り込むことを可能にしており，それによって緊張パターンと身体の認識を理解し伝えていると推測している（Soliman, Ferguson, Dexheimer, & Glenberg, 2015).

考察

モデルの強み

我々のモデルは広範で野心的なものであるが，できるだけ多くの AT 関連の現象を説明することを目標としながらも，比較的単純であるように試みた．我々のモデルは AT の様々な研究で見られる効果を説明しており，歩行時の側方運動の減少，スムーズな椅子からの立ち上がり，頸部の表層の筋活動の低下，より長い首と脊椎，体軸のゆっくりとした回転に対する高い適応性，バランスの安定化，自動的な姿勢の協調性の向上などが含まれている．口頭での指示，ハンズオンによるワーク，伝統的な手順，アクティビティのワークなど，幅広い指導スタイルに対応している．AT で学んだスキルが，AT レッスンでは直接扱われないものも含め，様々な異なる活動に一般化される理由を説明している．なぜ AT のワークが体軸に焦点を当てて体の部位を個別に扱わないのかといった理由や，AT の体軸への焦点が ″コアサポート ″に焦点を当てた一般的なモデルとは異なる理由とその方法についても説明している．ボディスキーマとトーンがどのように深く絡み合っているかを示すことで，AT における感覚フィードバックの役割についての異なる視点を融和させることができるかもしれない．このモデルでは，ボディスキーマの関与が，レッスン後にしばしば述べられる運動主体感の増大にどのように寄与するかを説明している．我々は更に，有力な神経モデルの概要を提示したが，これはさらなる精緻化と検証が待たれる．

モデルの制約

このモデルを開発する際に遭遇した最大の制約は，モデルの拠り所となる公表されたデータが乏しいことである．そのため我々は，AT の実践による逸話的な観察にも部分的に依存しており，ボディスキーマの導入がそれにあたる．さらに，頭頂皮質を超えて広がる複数の異なるボディスキーマがあるかもしれない（Ivanenko ら，2011; Medendorp & Heed, 2019)．それに加えて，神経メカニズムのセクションでは，AT の練習中にどのような脳領域が活動しているかについての直接的なデータはほとんどないことを基にしている．脳イメージングの最も確立されたツールは磁気共鳴イメージング（MRI）であるが，実験参加者は横になる必要があり，これは姿勢の現象の研究を複雑にする．

我々のモデルは関連するすべての疑問に対応しているわけではなく，そもそもなぜ姿勢トーンは最適になっていないのか，AT の学習過程は経時的にどのように起こるのか，などは説明していない．これらのトピックの両方とも，Loram ら(Loram, 2013; Loram, 2015)によって，運動選択と感覚処理を，姿勢の現象を表し不安

定にもなるフィードバックループの一部として扱うことによって探求されてきた．これは，AT の学習過程の理解に関連している可能性がある．最後に，AT でタッチがどのように使われているかについてはデータがないので，AT タッチに関する我々の議論は仮説である．

結論

我々は，AT のモデルは姿勢トーンとボディスキーマを中心としており，運動行動，感情の調節，痛みの変化のほとんどはこれらの中心的な変化の下流にあると論じてきた．我々は可能な限り研究成果を用いてこのモデルを支持してきた．基礎科学の進歩に伴い，このモデルは進化していく．

謝辞

研究室で収集した未発表のデータを使用してくれた Fay Horak と Brian Day，洞察力に富んだ徹底した編集支援をしてくれた Andrew McCann，初期の草稿を読んでコメントしてくれた Monika Gross，John Nicholls，Elyse Shafarman，Emily Faulkner，Nanette Walsh に感謝します．

参考文献

（訳注：参考文献については、論文原本を参照してください.）