

MEDSPORTPRESS, 2009, 1(4); Vol.9, 61-68

Renata Horst(A,B,C,D,E,F,G)

Physiotherapiepraxis und Weiterbildungsinstitute, Ingelheim

A－研究デザイン

B－データ収集

C－統計分析

D－データ解釈

E－原稿準備

F－文献検索

G－資金調達

神経筋骨格可塑性(N.A.P) 伝統的理学療法概念

からの脱却

キーワード：神経筋骨格可塑性、運動戦略の促進、身体機能の治療、機能的活動

要約

背景. N.A.P.(Neuromuscular Skeletal Plasticity 神経筋骨格可塑性)とは日常生活の中の運動戦略を促進するための統合的神経-整形外科的概念。心身機能と身体構造レベルの障害の治療は課題指向型活動と統合すべきであるというのが主要な命題である。この論文の目的は、機能的活動そのものが構造を決定するということを論証することである。

対象と方法. 交通事故で腕神経叢損傷を受傷した歯科医の症例報告を発表する。神経表在の長期的変化を強調するための現実的な活動を訓練することの重要性を強調した参考症例によって、心身機能のみに関連する課題を訓練することの必要性は崩された。

結果. この症例で提示した治療方法が、事故後 1 年もかからずに専門的職業に復帰できた患者の能力への顕著な効果を示している。

結論. 最近のエビデンスがこの概念による治療方法を支持している。肘の屈曲と前腕回外ができないことで、もう一度彼が職業復帰できる能力があるかどうかには大きな疑問が持たれた。しかし構造の再組織化は可能であり、そしてそれは課題特異的に訓練されるべき機能的な要求に依存している。一症例報告ではあるが、N.A.P.概念の治療方法の効果を裏付けるさらなる無作為化比較研究(RCT)の基礎となるであろう。

導入

この論文は運動戦略を促進するための統合的神経-整形外科的概念を提示する。心身機能と身体構造における機能障害、すなわち関節運動制限、安定性や筋力低下などの治療は常に患者の目標指向型活動と統合されるべきというのが、この概念の基礎となる考え方である。基本的には機能的活動そのものが構造を決定すると考える。

この概念の方法論と技術の基礎をなす治療原則は、関節機構と神経ダイナミクスそして伝統的神経生理学的概念に起源を持つ神経生理学的知識に属する伝統的徒手療法の概念に

関する知識を組み合わせたものである。医学技術の進歩が続くように、生体力学と神経科学の知識も発展を続けているのである。

可塑性とは変化、あるいは“進化”を意味する

この概念では、経済的で安全な運動戦略の学習や再学習を強化するための練習に生体力学的で神経生理学的基礎を取り入れていて、この練習は日常生活や職業場面で行われなければならない。筋骨格系の必須条件を、日常生活活動や職業に特異的な課題を、患者自身が練習していくのである。構造レベルでの治療を機能的活動の準備として分けて行うよりも、目標指向型の運動に統合し、患者が能動的に、あるいは心理的に目標をイメージしながら実行される。運動が起こせるように、セラピストの両手はできる限り最良の生体力学的状況を創り出す。そうして、具体的な課題に必要な神経筋の協調性が促通されるのである。

伝統的な概念

80年代から90年代初頭にかけての徒手療法の典型は、正常な機能的活動を回復させるためには他動的な関節構造のモビライゼーションで十分というものであった。多くの徒手療法概念では可動域制限を予防し治療する構造レベルでの治療が原則とされていた（例、Maitland, Kaltenborn-Evjenth, McKenzie）。検査と治療手順は主として他動的であった。セラピストは、主に他動的な牽引とグライディングテクニック、振動そして筋のストレッチングテクニックを用いて関節を動かしていた。促通概念（例、Bobath, PNF, Vojta）はそれぞれ特異的な刺激を用いて神経筋協調性を高めることを目的にしていた。セラピストによる外受容性刺激の適用は整形外科的徒手療法にも神経生理学的治療概念にも、どちらにとっても基本であった。

随意運動ができない状態ならば、拘縮を避け筋委縮を予防するためにそれらの方法はとも有用であるかもしれないが、このN.A.P.概念は末梢への刺激入力中枢の変化を導き、さらに末梢の出力に影響を及ぼすという原則に基づいている。この概念の方法論の基礎となる普遍的仮説は、構造の治療は現実的で意味のある日々の活動の随意的なパフォーマンスの最中に行われれば、学習がより効率的になるというものである。

臨床上の観察から、国際生活機能分類(ICF) [1]による機能障害レベルでの治療が、自動的に活動と参加レベルへ汎化されないことは明らかである。そのため長期的で適切な変化を導けるであろう新しい治療方法を探し出す必要があったのである。

可塑性

方法論の論拠は、機能的要求に順応する能力と定義されている“可塑性”の考えである。課題が多様なときや環境が変化するとき、学習のためには神経結合の有効性の変化と同様に、感覚系と運動系の相互結合パターンの多様性が求められる [2]。

神経可塑性：末梢の変化が中枢の変化へ導く

脳内に多くの複雑な結合が存在することで、行動上の必要に応じられる変化を許している [3]。使用することに依存して、受容器が可塑性を示し、その結果シナプス伝達が強まったり弱まったりする。弱体化や慢性疼痛あるいは恐怖によるとしても、もしある身体部位が使われないでいると、皮質の表在野の変化が起こることがある [4,5,6,7,8]。

あなたが使わないものは失われる！

Merz nich [9] が猿の研究で明らかにしたように、使用に依存して皮質表在の変化が起こる。身体が使われない部位は表在野を失い、もっと使われる部位に置き換えられる。

Ramachandran [10] は切断後の患者が彼らの失われた手を顔面や肩などのあたりで実際に“感じている”ことを発見した。求心性情報の喪失が幻肢痛のような不快な感覚を生じさせることがある。彼は、視覚刺激入力のために鏡を用いて、失われた手の表在を患者にもう一度与えようと考えた。

“ミラーニューロン”（後述参照）と呼ばれる最近の発見が、実際に能動的に遂行することのできない現実的な動きを視覚化することの重要性を説明してくれるかもしれない。このニューロンは動きを認識する基礎となっていることが考えられる [11]。セラピストの徒手的誘導によって経験されるある活動は患者がその運動の特性についての“イメージを得たり”よく知るための助けとなる可能性がある。

文脈のないただの運動は、脳にとっては違った意味を持つ

最新のエビデンスが N.A.P.概念の基礎となる仮説を支持している。関節モビライゼーションの機能的な関連としては、シナプスの結合性と皮質表在の長期的変化を達成するために、実際の活動中に構造レベルでの介入を行うことで骨格系と神経筋のパターンを活性化する必要があるということである [12, 13, 14]。

目標指向的な動作が観察されると、実際に活動している人で活性化されるニューロンと同じニューロンが観察者でも活性化される。しかし周囲環境を無視して同じ動作を行っても、観察者で同じニューロンは活性化されない [15]。

自らの意志に基づいた動作はただの筋収縮以上の意味を持つ

周囲環境を考慮しないで運動した場合では考慮した場合とは異なるニューロン群が働くことになる。運動皮質が活動しただけでは、ある環境の中で行われる活動に関する運動を模倣するだけになる（図 1a、1b、1c）。さらに皮質における身体部位の表在はただの具体的な部位の表出に限定されず機能的な結合も表している [16]。

臨床例

16 歳の患者 E.L.は突発的な左手首の痛みを経験し、医師から急性腱炎の診断を受け、

キャスト固定が処方された。5日後、彼女は激しい痛みを訴えキャストは外された。彼女の上肢全体に激痛を認め、神経電動検査には問題がなかったにも関わらず、手関節と手指の伸筋群の随意運動はまったくできなかった。2か月後、彼女はこれらの筋群の随意収縮を取り戻したが、それは集合運動しかできない極めて異常な活動パターンであった。痙性ジストニアを呈しているような臨床像であった（図 1a）。同じ日に、ジムボールをバウンドさせたりバレーボールのオーバーハンドパスを促されると（図 1b）、ビデオに録画された運動は完全に正常で、フルートを演奏するときの手指の選択的運動も同様であった（図 1c）。

ミラーニューロン

ミラーニューロンは、望む行為のために求められる筋の共同運動の協調性（タイミング）を組織する前運動野に存在している。また、この領野は運動課題を完了するために必要な関連情報を選択する責任領域でもある。この情報は視覚が主で“フィードフォワード”と呼ばれ、実際に動き出す前に中枢神経系に”供給”されるものである。この領域は感覚情報を統合し、ある行為のために要求されるスピードや方向、筋線維の種類などの要因を組織し、介在ニューロンの機能を実際に遂行する運動野に投射する。

筋の可塑性

一般的に機能的な要求に応じて筋量は増減する。筋力トレーニングは筋肥大を生じるが、だからといってこのトレーニングされた筋がそのまま様々な活動を上手に実行できるかということそうではない。すべての活動が筋そのものの具体的な発火順（筋内の協調性）と行為を実行する共同運動に含まれる筋群の具体的なタイミング（筋間の協調性）を必要とするからである。また、筋線維の動員頻度もそれぞれの課題によって決定される。それゆえ筋力トレーニングはそれぞれの課題に必要な協調性を獲得するために、それぞれの条件に応じて実施される必要がある。

病態によっては筋線維のタイプが変化することがある。例えば、痙性によって相動性線維（速筋）が緊張性線維（遅筋）に置き換わることが知られている [17]。加齢によるケースも同様で、相動性線維から緊張性線維へゆっくり変化する。

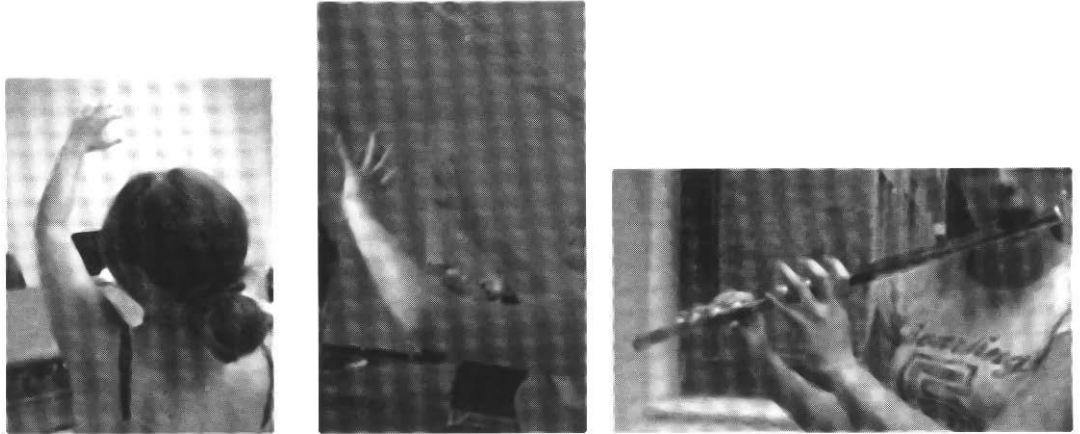


図 1a.痙性ジストニアの 1b.ジムボールのパス 1c.フルート演奏時の選択的
手指運動の臨床映像

構造的順応性

筋は活動からの要求と環境に応じてその長さを変えなければならない。また姿勢調整には伸筋共同運動の遠心性制御が要求される。そのために構造の弾力性が必要となる。

創傷治癒のために運動の抑制が必要になれば、固くなるであろう。筋の固さは安静時の筋の長さを変えるために加える力の強さによって定義される [18]。

腱や結合組織に起こる水分やコラーゲンの減少などの変化は固さを生じると考えられる [19]。

また筋の固さは防御戦略の結果かもしれない。氷の上を歩くと想像するだけでいい。この状況で運動制御を向上させるとも効果的な戦略は同時収縮である。一時的な固さは安定性を向上させるために必要なだけでなく、転倒への恐怖が生む自然な結果である。しかしそのまま同時収縮が続いてしまえば、構造的固さに至ってしまう。

関節—骨（骨格）の可塑性

関節を動かしたり安定させたりするために筋の活動が要求されるので、筋の活動パターンが変われば骨格系の変化も生じることになる。例えば大腿骨頭上で腸骨を安定させるための股関節伸筋共同運動が十分強くないと、腸骨は前方に傾いてしまい、大腿骨頭への負荷が変化することになる。そして防御機構の結果として骨棘が形成される。骨への圧力が減った場合にも同様に順応が起こる。宇宙飛行士は宇宙に滞在すると骨量が減少する。なぜなら、彼らの骨が重力からの要求に曝されていなかったからである。このように機能的な要求が構造を決定するのである。進化の過程を通してこの原則を見ることができる。私たちの頭蓋骨は、機能的要求に応じてその形状が変化してきている。人類が話し始めた時に、言語を司る部位（ブローカ中枢）は大きくなった。この領域は他にも音を聞くこと

と手指、舌と顔面筋群の制御も司っていて、これらすべてがコミュニケーションに関係しているのである。

姿勢制御の課題特異的組織化と相反神経支配

姿勢制御は、静的でも動的な状況でも支持基底面上に身体質量中心を維持する能力ということもできるであろう。それは定位のために多くの感覚系戦略を組織することを含んでいる。姿勢共同運動の重要な特性の一つは、異常な共同運動と違って、調整される余地があるということである。Sherrington は目標指向型の行動のそのユニークな特性を可能にさせる相反抑制を、優先順位を調整するための普遍的な手段とみなしていた [20]。前述したように、随意運動を実行するには主動作筋群の具体的な動員順（筋間協調性）と筋内の筋線維タイプを決定し（筋内協調性）、同様に動員の具体的頻度も決められなければならない [21]。課題によって、拮抗筋はリラックスしなければならないかもしれないし、共同活動（同時収縮）を維持しなければならないかもしれない。同様に、様々な環境条件によって様々な相反的な神経支配が要求されるのである。例えば、重力の影響によっては拮抗筋群が運動を遠心性に制御しなければならないこともあるように。

フィードフォワードとフィードバック

随意的で目標指向型の運動を始めるにあたって、運動を計画したり開始したりするために使うことのできる情報が中枢神経系に”与えられる”。それから運動の終わりに向かってフィードバック機構が重要性を増し、それによって必要があれば修正が行えるのである [22]。それぞれの課題によって必要であったり使ったりする情報が異なってくる。素早い運動はもっとフィードフォワード機構に依存していて、フィードバックが役割を果たしている時間はないのである。しかしながら、脳内で運動モデルを創り出すためにはまず初めに感覚のフィードバックが必要であり、その過程が新しい運動スキルを獲得するのに役立つ [23]。またフィードバックは修正のために必要であり、特に運動遂行中に予測していない変化が起こったようなときには必要となる。

速い目標指向型の随意的行為には“三相活性化パターン”と呼ばれる理論が必要である [24, 25]。まず主動作筋群が発火して運動を加速させる。次に目標到達の少し前に拮抗筋群が収縮して減速させ、その後もう一度拮抗筋群が発火して終了肢位で安定させる。加速相では拮抗筋群は相反性に抑制される必要がある。この情報は介在ニューロンとの結合を通して受け取り、主動作筋が収縮するとき拮抗筋は何をすべきか“知っている”はずとも云える。例えばボールをキャッチするとき、ボールの重さによって起こる伸張刺激に反応しなければならない二頭筋だけでなく、安定性のためには三頭筋もまた収縮しなければならないのである。何かしらの不安定性が起こるだろうという予測から、この同時収縮は実際にボールが手に到達する前から組織される [25]。これは主に視覚情報によってなされる（フィードフォワード）。ボールの衝撃は固有受容情報を創り出し、二頭筋が反応す

ることができる（フィードバック）。不安定化の予測が、同様に三頭筋の収縮も起こす。同じ重さのリンゴを持っていたとして、誰かが噛みつこうとしても三頭筋の同時収縮は生じない。この場合であれば抑制される必要があるからである。

防御機構

N.A.P.概念の治療方法の基礎として、痛みを経験したり実際にまだ痛かったりする運動を避けようとするために、目標指向型の随意運動中に、リラックスしなければならない拮抗筋が、そうならず同時に活性化してしまうのではないかと考えている。そうして防御のための必要性を満たしているのであろうから。もし治癒のためにある身体部位の防御が必要だとすれば、筋群は痛かったり損傷した部位を“フリーズ（じっと動かないでいる）”させようとするであろう。

科学的根拠から、防御戦略は辺縁系の扁桃体が引き金となり意識下で組織されるとある〔26〕。先に図示したように、筋群は変化する要求に応じてその活動を合わせなければならないし、相反神経支配は多様性をもって対応しなければならないという事実が治療に対する仮説を裏付けている。

辺縁系にある扁桃体は交感神経系に直接連結していて、それが生化学的変化の引き金となる。この機構の目的は疼痛部位を動かさないようにして治癒を期待することである。

もし有害な刺激が持続すると、神経系全体が過敏になってしまうこともある〔27〕。セロトニンは長期記憶にとって大切な神経伝達物質の一つでもあり、どうして上記のような変化がすべて“学習されてしまう”のか説明がつく〔26, 28〕。このような防御機構は、創傷治癒の急性期に必要な生理学的変化を含んでいる。このような変化を慢性化させないためには、可能な限り早期に、傷ついた身体部位をポジティブに（前向きに、痛みなく）動かす経験がとても大切になる！

抑制と馴化

馴化は、快適ではないが有害ではない反復刺激に対する行動変容ととらえることができるであろう。そこでは一定の反復刺激に対して反応の漸減が起こる。馴化の過程は意識されない。同じ刺激の入力が続いているときに、この過程なしには背景にある情報がより重要なきにも、注意の対象を転換することはできない。その刺激が重要でないと判れば、すぐにより重要だと思われる事柄へ自らの注意を向けることができるようになる。これには神経系の適応が必要である。

馴化は抑制次第

抑制性ニューロンは、一つを除いたすべての競合する反射を抑制することで、一つの特定の刺激に対して安定した予測可能な協調性のある反応を引き出す。一つの運動ニューロンが他の複数のニューロンから受け取るすべての促進性、抑制性インパルスを加えてい

き、この計算結果に基づいて適切な行為が起こるのである [20]。

運動と皮質の制御に関連する皮質下の活動

随意的な目標指向型の行為は皮質と皮質下両方で組織される [29]。運動の開始前には感覚入力が必要だと長いこと信じられてきた。いくつかの実験が、運動の開始には、視覚や聴覚入力のような環境に関する意識される情報が必要だと示している。触覚情報は、望むべき行動計画が起こったが途中で修正が必要な場合の制御にフィードバックとして使われる [22]。このエビデンスが示すのは、具体的課題の遂行中に技術を要する運動の協調性の向上に対して触覚刺激が使われるであろうということである。知覚は課題に関する適切な情報と課題を達成するための最も有益な戦略の探索を求める。ただ感じるだけでは脳は運動を組織できない。何が起きているかを感じる事が重要なのである。これは意識には依存しない。身体の遠位部は主に意識的に（皮質で）組織され、環境からの視覚情報を必要とする。身体の近位部は主に意識下で（皮質化で）組織され、固有受容覚情報を必要とする。

N.A.P.概念では、目標は視覚と口頭からの情報によって導かれる。セラピストの手は筋群が自動的に協調できないときに、生体力学的状況を創り出すための道具として用いられる。そうすることで、運動学習が進む時に、脳は自動的に動員される適切な筋の共同運動を組織することができる。

治療目標と方法

N.A.P.概念の治療目標は：

- 固さを予防したり治療するために弾性を向上
 - 痛みへの意識と恐怖を予防
 - 皮質表在と姿勢制御を促通
 - 日常生活と職業活動における具体的課題を促通
- 具体的方法を含む：
- 固い筋の遠心性活動
 - 意識される痛みと恐怖のマネージメント
 - － 馴化訓練
 - － 有酸素訓練
 - 様々な入力系の特異的使用
 - 適切なフィードバックを用いて（試行錯誤）適切な戦略の促通

症例報告

36歳の歯科医がバイク事故で腕神経叢不全麻痺を受傷した。肘屈曲と回外を含む運動性の喪失は彼の職業復帰を可能にするには特に大きな障害要因であった。さらに肩の可動域

も制限されていた。手指の感覚と運動性は正常であった。

仮説（複数）

1. 筋皮神経周囲の癒痕組織がシナプス効率に悪影響を与え、二頭筋の弱化を招いた。
2. 構造レベルの治療は意味のある課題に合わせて行わなければならない。
3. この患者が学習できるのは職業背景に合わせた練習の中で手と腕を使わせた時だけである。

活動レベルでの評価

受傷3か月後に、手で口に触れることができなかった。側臥位で鼻に触ることはできた。二頭筋は触れることができるくらいのわずかな活動であった。仰臥位では肘屈曲80度まで可能であったが回外は見られなかった（図2）。

受傷7か月後、彼は座位でグラスを口まで2回持ち上げることができた（図3）。

受傷8か月後、同じ活動を10回できるようになったがまだ回外はできず回内位で。また、仰臥位でも口まで届くようになった（図4）。

治療

肘屈曲の運動性を向上させるためにセラピストは、近位の手で肘屈曲改善のために肘頭を動かしながら、遠位の手を用いて徒手抵抗を加え彼に引っ張らせた（図5）。

回外の運動性向上のために、患者が平行棒をつかもうとしているときに、橈骨遠位に背側に向かって圧を加えることで遠位橈尺関節の可動性を介助した（図6）。

近位橈尺関節も、同じ活動中に橈骨頭を腹側方向へ圧を加えて可動性を助けた（図7）。

受傷8か月後になっても、彼はまだ肘屈曲位で前腕の回外ができなかった（図8）。

受傷9か月後、彼の職業活動を真似しようとする、肘を曲げながら回外を行えるようになった（図9）。

セラピストが彼の回外運動を介助し肩を固定して、実際の人間に実際の歯科の道具を用いて模擬治療する課題を行った（図10）。

受傷11か月後、肘を曲げたまま素早く器用に回外運動を行えるようになり、二頭筋の最大筋力も維持できていた（図11+12）。

彼は自分の患者を治療するために大成功で仕事復帰ができました！



図.2

図.2 二頭筋のわずかな活動

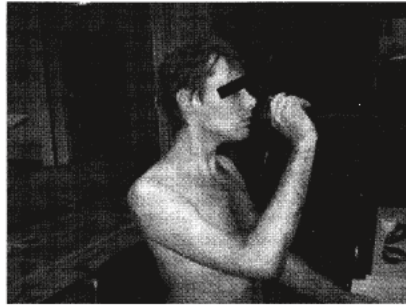


図.3

図.3 グラスを持ち上げる活動

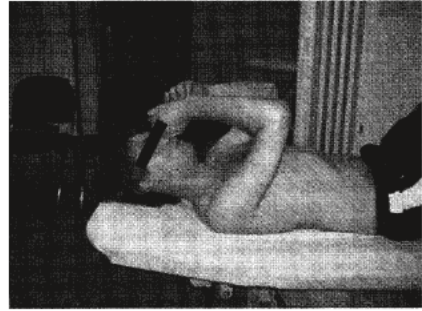


図.4

図.4 活動は 10 回可能だが、まだ回内位で回外できない

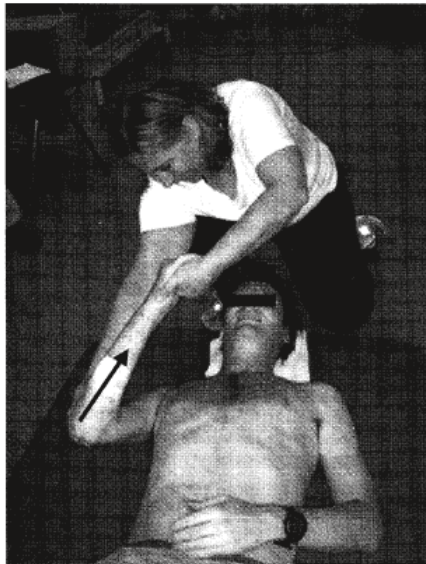
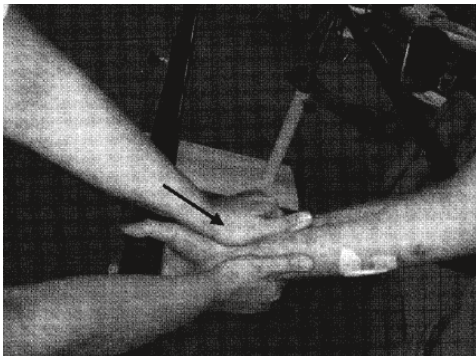


図.5 肘屈曲運動性の向上

図.6 遠位橈尺関節のモビライゼーション



まとめ

主治医とこれまでにあった何人かのセラピストたちの否定的な態度にもかかわらず、これらの素晴らしい結果を出せたのは具体的な治療方法によるものだけではなく、彼自身のモチベーションに感謝しなければならない。リハビリテーションの中心となるゴールは、患者を”普通の”生活に向けて準備させ、社会的相互関係を取り戻すよう勇気づけることである [30]。特に参加レベルを考慮することで、セラピストはリハビリテーションの進行を強化することができる隠された潜在能力やモチベーションの鍵となるものを見つけることができるのではないだろうか。N.A.P. 概念の根本になる理論は、構造上の要求を意味のある活動と参加に組み入れることである。一つ一つの症例報告が始まりであり、個々の良い結果を記録してもいける。それらの積み重ねが N.A.P. 概念の治療アプローチを支持するための将来の RCT につながっていくのであろう。