

障害者の動作分析

—新しい歩行分析法による検討—

安東 範明* 眞野 行生

はじめに

障害者の歩行を、定性的に詳細に、あるいは定量的に評価する試みは多く、過去に、足跡を記録する方法¹⁾、床設置型の大型床反力計を用いる方法²⁾、筋電図記録によるもの³⁾、映画撮影法によるもの⁴⁾など、多数の報告がみられる。

歩行分析の目的としては、病的歩行の特徴の把握や、そのメカニズムの解明、疾患の経過観察、あるいは理学療法、義肢装具や薬物治療の効果判定などが考えられる。したがって、各検査法には、使用できるパラメーターが厳密で、客観性や再現性に優れていることが求められる。

さらに、日常の臨床の現場で利用する場合には、歩行を詳細に分析できることに加えて、①短時間に簡便に行えること、②結果の解釈が容易であること、③被検者に検査を意識させず自然な歩行が得られること、などが要求される。

今回は、これらの条件を満たすと考えられる新しい歩行分析システムの中から、①足底圧計測による F-SCAN (米国 Tekscan 社) と、②ビデオ画像をコンピュータで解析する PEAK Video/Computer Motion Measurement System (米国 PEAK 社、以下、PEAK と略す) の2つについて、最近われわれの行った研究を中心に、考察を加えて報告する。

F-SCAN を用いた筋ジストロフィー症の歩行分析と新しい靴型装具開発への応用^{5,6)}

① F-SCAN による歩行分析

Duchenne 型筋ジストロフィー症 (DMD) では、7～15 歳の間に急激に ADL の低下がみられる。特に下肢を主体とする立体・歩行能は、8～11 歳までのわずか数年で急激に低下・喪失する傾向がみられる。

われわれは、F-SCAN を用いて、DMD の歩行を、立脚期の足底圧の変化の面から解析し、健常者との差異や、各 stage における特徴について検討を行った。

対象は 8～10 歳、厚生省筋ジストロフィー症研究班の機能障害度 I～IV 度の DMD 7 例である。対照として 7～13 歳の健常男子 10 例も計測した。

計測に用いた圧計測センサシートは F-SCAN である (図 1)。このシートは加える力の大きさに応じて電気抵抗値が変化する物質を薄膜形成し、その上下に行電極と列電極を一定の間隔でマトリックス状に配置したもので、それぞれの交点が力検出点となるように構成されている。厚さ 0.1 mm と紙のように軽く薄いこのシートを各被検者の足の形に合わせてハサミで整形し、両面テープで右足底に貼り付け自由歩行させた。歩行時に

1994 年 2 月 21 日受稿

*奈良県立医科大学神経内科/〒634 奈良県橿原市四条町 840 番地

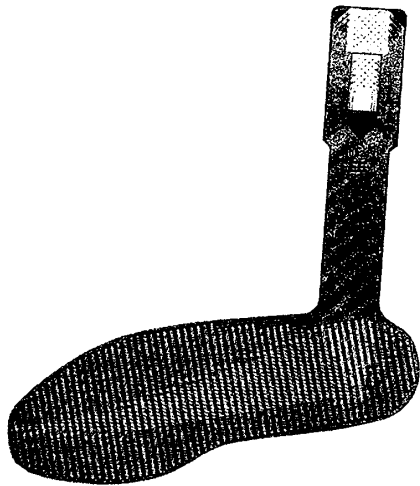


図 1 F-SCAN センサシート⁵⁾

足型の圧計測センサシートで 0.1 mm と紙のように薄く、被検者の足の大きさに合わせてハサミなどで整形可能である。

センサの行電極と列電極を周期的にスキャンし、その時点でのそれぞれの交点における電気抵抗値をコンピュータに連続的に取り込み、4秒間の歩行時の電気的情報を力情報に変換表示した。

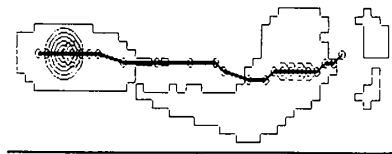
健常者では、全例同一の足底圧パターンをとった。足底圧の中心の軌跡をみると、圧の中心は踵の中心より始まり、heel contact 期に相当する時間が長く、その後スムーズに前方に向かってやや外側凸の弧を描きながら移動し、toe off 期に再びやや長い時間を要するが、heel contact 期のように同じ位置にとどまらず、少しずつ動きながら第 I 趾の方向に向かって移動するのが観察された(図 2-A)。

DMD では障害度が進むにつれて次の 1~4 のパターンを示すことがわかった。まず stage I の症例は健常者のパターンとほぼ同様のパターンを呈していた。すなわち heel contact 期と toe off 期に時間がかかるパターンで、これを<パターン 1>とした。

次に stage II の症例は、足底圧の中心は踵部から始まるものの、その時間は短く、かつ<パターン 1>よりも大きめの外側凸の弧を描きながら前方に移動し、前足部すなわち toe off 期に相当する時間が延長していた。これを<パターン 2>とした。

この変化は stage III に入るとさらに著明となっ

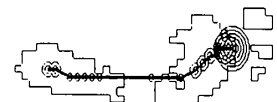
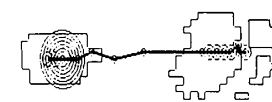
A) 健常者



B) Duchenne型筋ジストロフィー症

<パターン1>

<パターン2>



<パターン3>

<パターン4>

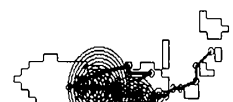
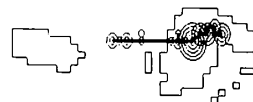


図 2 健常者と DMD の F-SCAN による計測結果⁵⁾
フットプリントの上の太い実線は足底圧の中心の軌跡を示す。実線上の同心円は時間の経過を示すもので、円 1 個が 0.02 秒、二重円が 0.04 秒と、円の数が多くほど、同じ場所に長時間足底圧の中心が存在していたことを示す。

ていた。圧の中心は中足部より始まり、すぐに第 I 趾部に向かって移動し、前足部での時間は著明に延長していた。これを<パターン 3>とした。

stage IV の症例はさらに特徴的なパターンを示した。圧の中心は、まず第 I 趾部付近から始まり、一旦後外側方向に向かって移動した後、再び前方に向かって移動し、第 III 趾部付近に至るのがみられた。これを<パターン 4>とした(図 2-B)。

以上の検討により、DMD の機能障害の進行に伴う足底圧パターンの健常者との相違点が明らかにされた。

体幹から下肢の機能障害に起因する足底圧パターンのうちもっとも早期に出現したのは stage II における<パターン 2>の変化、すなわち足底圧が踵部にある時間の短縮と前足部にある時間の延長であった。DMD の多くは立脚期に腰椎前弯、尖足位姿勢をとることは知られており、この姿勢をとる患者の重心は健常者よりも前方に位置している。このことが足底圧に反映されたと考えられ、腰椎前弯、尖足の発生に伴う体重心の前方移動は

stage IIの時期よりすでに始まっていることを示していた。この変化は stage III, すなわち<パターン3>においてより顕著となるが, heel cord 短縮による足関節拘縮の進行により尖足位がより増強したものと考えられた。

もっとも特徴的だったのは stage IVにおける<パターン4>の変化で, まず足底圧の中心の始まる点は<パターン3>よりさらに前方となり, 第I中足骨頭部付近であった。これは尖足位のさらなる増強と関係すると考えられた。しかしその後<パターン3>のようにそのまま前方に動くのではなく, 一旦後外側方向に移動した後, 足の外側に沿って前方に動くのがみられた。

DMD では体幹から下肢の筋力低下が高度になると立位にて高度の腰椎前弯位をとり, 肩は後方に移動し腹部は前方に突出し, 両腕は体の後方で下垂した姿勢をとる。そして片脚の接地時には腰椎の前弯はまだ強くないが, 反対側の踵離れが出現してくると前弯が増強してくる。この反対側遊脚期において, 大殿筋の高度の筋力低下により立脚肢の股関節が屈曲してしまうのを防ぐため, 上体を後方に倒すことにより重心線が股関節より後方を通るようにしている。これが足底圧の中心が後方移動した理由だと考えられた。また DMD では歩行中に上体を左右に振る動揺性歩行がみられる。支持脚に体重を移し Trendelenburg 跛行を防ごうとする代償動作が反映され, 足底圧の中心は後方移動に加え, 外側方向に移動したものと考えられた。また, 支持脚へ上体を傾けた状態で遊脚を前方に振り出して反対脚接地に至るため, その後足底圧の中心は, 足の外側に沿って前方に移動したものと考えられた。

② F-SCAN による新しい靴型装具

開発の試み

次に, われわれは, F-SCAN による歩行分析を応用し, 筋ジストロフィー症の異常な足底圧パターンを正常足底圧パターンに矯正し, 日常生活に利用できる靴型装具の開発を試みた。

対象は10歳男子。顔面肩甲上腕型筋ジストロフィー (FSH)。厚生省筋ジストロフィー症研究班



図3 計測用靴と靴型装具⁶⁾

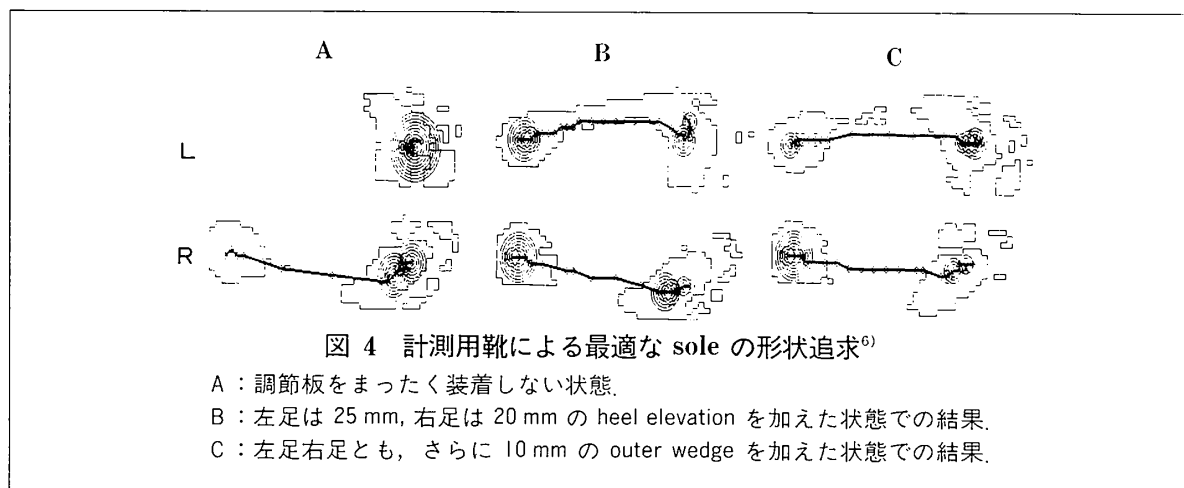
写真で奥の左は F-SCAN を組み込んだ計測用靴。手前は heel elevation 調節板と wedge 調節板。それぞれの調節板の上面と下面にはベルクロがついており, 計測用靴に自由に着脱し, 最適な sole の形状を求めることができる。奥の右は計測結果に基づいて製作した靴型装具。

の機能障害度では stage IIIに相当する。ROM は股関節および膝関節には制限なし。足関節は左は背屈 -30° , 屈曲 90° 。右は背屈 -25° , 底屈 85° 。腰帯部から下肢近位部の筋力低下と内反尖足のため著明な動揺性歩行を呈していた。

まず, 歩行分析を行い適切な sole の形状を追求するための計測用靴を製作した。患者の両足を立位でトレースした後, 足の寸法を各部で計測した。

upper は, F-SCAN センサシートの insole 上への装着や, 計測時に患者の足への計測用靴の装着を容易にするため toe open type とし, sole には 60 mm までの heel elevation を 5 mm および 10 mm 単位で 12 段階で行えるような 8 枚のゴム製の<heel elevation 調節板>と, 40 mm までの outer wedge と inner wedge を 5 mm および 10 mm 単位で, それぞれ 8 段階で行えるような<wedge 調節板>12 枚を, ベルクロで outsole 上に自由に着脱し, 適切な sole の形状を求めることができるように工夫した (図 3)。

患者の足底圧パターンは, sole にまったく調節板を装着しない状態では, 左足は踵部からの圧はみられず, 前足部のみに圧がみられた。右足は踵部からすぐに前足部に圧が移動し, 前足部に圧が存在する時間が延長していた(図 4-A)。内反尖足の足関節変形, およびそれに伴う体重心の前方移動の影響によるものと考え, まず, heel eleva-



tion を加えるため、<heel elevation 調節板>を着脱しながら適切な heel の高さを検討したところ、左足は 25 mm、右足は 20 mm の heel elevation で踵部と前足部の両方に適当な圧のかかるパターンが得られた。しかし、まだ圧の中心は足の外側寄りを前方に移動していた(図 4-B)。そこで、wedge 調節板を着脱してさらに検討したところ、左右とも 10 mm の outer wedge により、圧の中心が踵から始まり十分な heel contact があり、足のほぼ中央を前足部に移動し、toe off 期の前足部の圧も十分な正常パターンの足圧が得られた(図 4-C)。

この計測結果に基づいて靴型装具を製作した。すなわち、outsole に、左足は heel にかけて 25 mm の elevation を、右足は 20 mm の elevation を作った。また、両足ともに insole と out sole の間に 10 mm の outer wedge を有する filler を挿入した(図 3)。

この靴型装具を患者に装着させたところ、たいへん歩きやすくなったと好評を得た。足圧パターンが正常化するとともに、動揺性歩行も改善し、スムーズかつリズムミカルな歩行が得られた。裸足時には平均 12.7 秒だった 10 m 歩行時間も平均 8.8 秒に短縮された。

PEAK を用いた運動失調症の歩行分析と薬効評価への応用⁷⁻¹⁰⁾

神経学的診察法による運動失調の評価に際し、

失調症状の微細な変化の正確な判定は多大な困難を伴う。われわれは新しい解析装置を用いて歩行における運動失調の特徴的所見を検討し、さらに新しい TRH (thyrotropin releasing hormone) 誘導体 TA-0910 (3-methyl-(s)-5,6-di-hydroorotyl-L-histidyl-L-prolinamide) の運動失調改善効果を検討した。

① PEAK による歩行分析

対象は 41~73 歳の脊髄小脳変性症 (SCD) 10 例と正常対照群として健常者 6 例である。計測および解析には PEAK を用いた。これは被検者の動作をビデオカメラで録画し、コンピュータでデジタル化などの処理を行うことにより、被検者の位置と運動の数量的データを得るなど詳細な解析を可能とするシステムである。これを用いて歩行分析を行った。

被検者をカメラの視野中を左から右に歩行させた際の、身体各部位合計 10 点の位置データを撮り込んだ後、各点間を結んでスティックピクチャーを作成した。また歩行中の膝関節角度を装置内蔵のコンピュータで解析した(図 5)。

健常者では、いずれも遊脚期における下肢の前方への振り出しが大きく、特に下腿以下の前方への運動が大きく、踵部が膝関節部を越えて大きく前方へ動くのがみられた。また上肢の振りもリズムミカルでかつ大きかった(図 6 左)。SCD では遊脚期における下肢の前方への振り出しが小さく、下腿の前方への運動が制限され、踵部は膝関節の

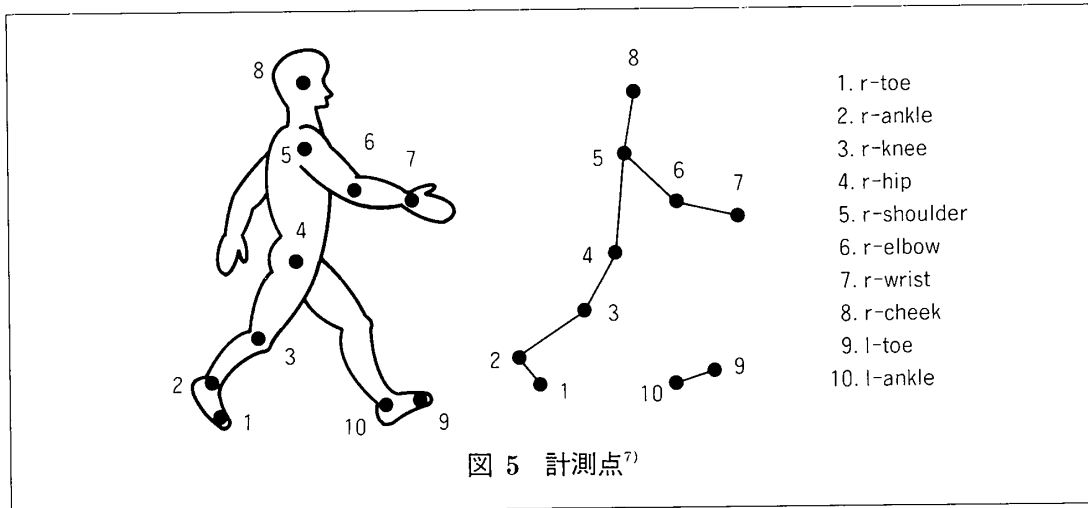


図 5 計測点⁷⁾

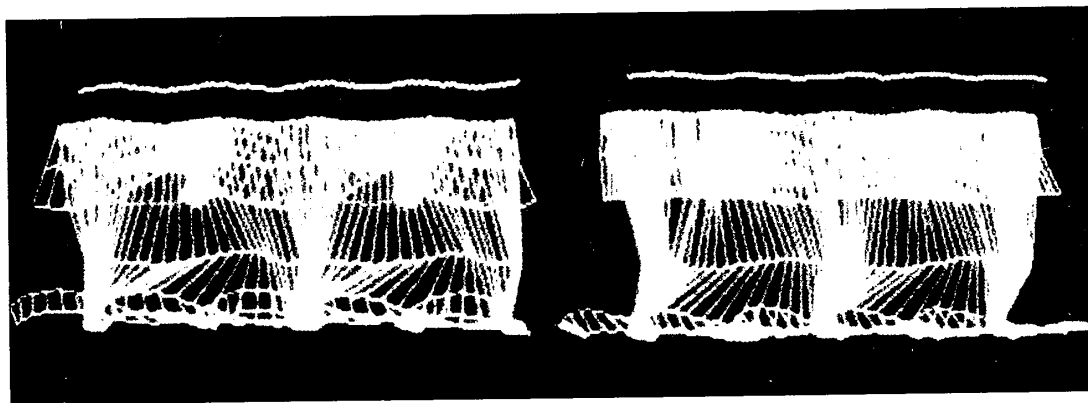


図 6 PEAK による計測例⁷⁾

左から右へ歩行した様子をスティックピッチャーで表示したもの。各計測点の動きの軌跡も表示されている。左は健常者、右は SCD (Holmes 型遺伝性運動失調症) の計測例。

下付近か、もしくは膝関節部を越えずに踵を接地させてしまう症例が多かった。また上肢の振りも小さく、右手関節部の動きをみると、上下方向の動きがほとんど消失しているのが観察された(図 6 右)。

② PEAK を用いた新しい TRH 誘導体 TA-0910 の効果の検討

TRH は視床下部ホルモンの一つで、視床下部に限らず、中枢神経に広く分布し、神経伝達物質ないしは神経調節因子として機能していると考えられ、脊髄小脳変性症の運動失調改善効果が知られている。新しく合成された TRH 誘導体の TA-0910 は経口剤で、血中濃度が高く維持される利点を持ち、現在、多施設共同の二重盲検比較臨床試験が続けられ、その結果が期待されている¹⁰⁾。

SCD 群について、TA-0910 の投与直前と 20 mg 経口投与 3 時間後の 2 回計測を行い、前後での所見の比較検討を行った。SCD にみられた特徴を定量化するため、まず右膝関節角度をグラフ化して検討した。SCD では最大膝関節角度が著明に減少しており、前方への下肢の振り出しが減少していることに対応していた。

次に上肢の振りを定量化するため、右手関節部の上下方向の動きをグラフ化して検討した。SCD ではこの動きの大きさが減少し、上肢の振りの悪化と対応していた。

以上の特徴を健常者 6 例と SCD 10 例で比較検討した。遊脚期に前方に振り出された最大膝関節角度では 1% 水準、右手関節部の上下方向の変位では 0.1% 水準で、有意に SCD 群が低下していた(図 7)。

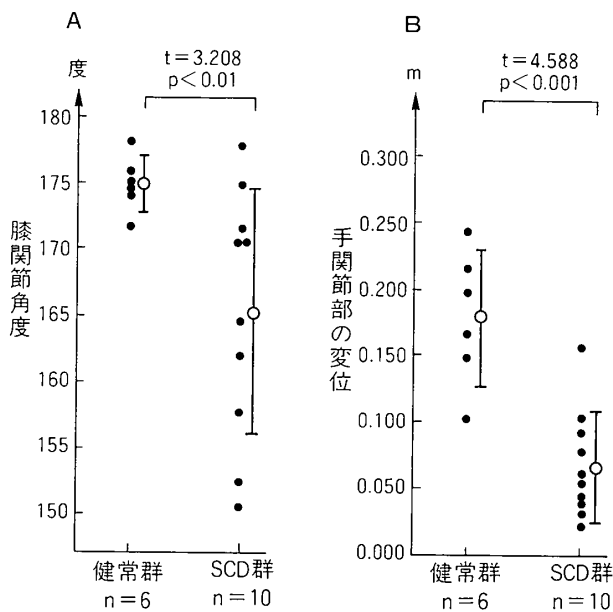


図 7 健常者と SCD の比較⁷⁾

- A) 遊脚期に前方に振り出された最大膝関節角度
- B) 手関節部の上下方向の変位 (m)

次に、TA-0910 投与による歩行の変化を検討した。投与 3 時間後に踵部は膝関節部を越えて前方へ振り出されるようになり、下肢の振り出しの改善した症例を多く認めた。また、上肢の動きも大きくなった症例が多かった。

定量化の結果では、遊脚期に前方へ振り出された下肢の最大膝関節角度、および右手関節部の上下方向の変位の大きさとともに TA-0910 20 mg 経口投与 3 時間後に 5%水準の有意差をもって改善された (図 8)。

考 察

F-SCAN は圧計測センサシートおよびトランスデューサともに小型かつ軽量であり、これを装着しても歩容が乱れることはなかった。また従来のフォースプレートを用いた計測と違い被検者の随意的な場所への歩行が可能で、より自然な状態の歩行分析が期待できる。これは DMD のような小児の歩行分析においては、計測を意識させないという点で大きなメリットである。また、センサシートは靴の中敷としても使用可能であり、したがって靴装着時の歩行分析も容易に行え、新しい靴型装具の開発へ応用することができた。

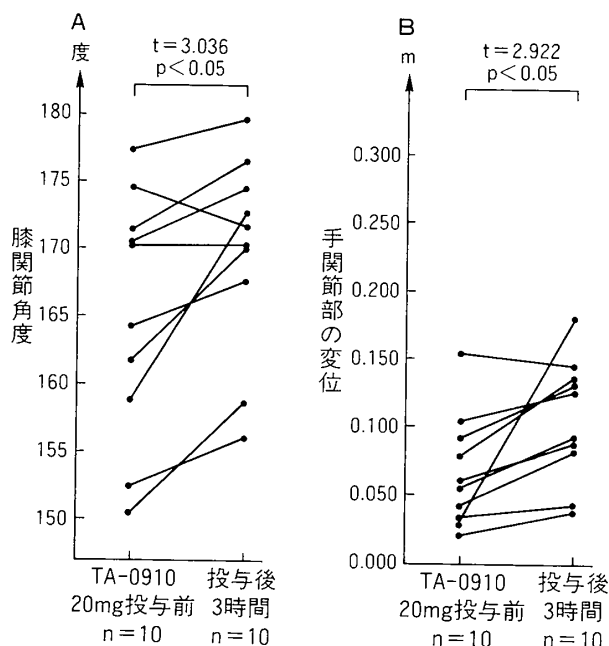


図 8 TRH 誘導体 TA-0910 の歩行改善効果⁷⁾

- A) 遊脚期に前方に振り出された最大膝関節角度
- B) 手関節部の上下方向の変位 (m)

歩行分析の究極の目的は、単に障害の把握にとどまることなく、病的所見の改善を目標に治療に利用することである。われわれは足の形態的变化という static な要素に加えて、歩行中の dynamic な変化をも矯正することを目的とし、歩行分析の結果をリアルタイムにフィードバックさせることで適切な sole の形状を有する靴型装具を開発できた。

F-SCAN では床反力について前後方向や側方の分力の解析はできないが、歩行の分析方法は目的に応じて使い分けられるのがよいと考えられ、従来の測定法で適宜補うことによっていっそう正確に病態を反映した歩行分析が期待できる。F-SCAN は臨床応用がきわめて簡便であり、今後の普及が望まれる。

PEAK については、コンピュータを用いた画像処理技術を歩行分析に応用することにより、SCD における運動失調の特徴的所見が明らかになり、肉眼では見過ごしやすい症状の微細な変化が明らかになった。また、TA-0910 の効果についても客観的評価が可能となり、その効果が証明された。

われわれは歩行のみならず、立位保持能力、上肢の協調運動機能、下肢の協調運動機能⁸⁾などに

についても検討を行い, SCD タイプ別の特徴的所見が明らかになりつつある. 今後は症例数を増やし, SCD のタイプ間での失調症状の相違, さらには運動失調発現のメカニズムの考察や TRH 誘導体の効果発現のメカニズムの考察などを行っていきたいと考えている.

今後も神経疾患に対して新しい治療法の開発が期待され, その効果を客観的かつ迅速に評価する必要性はますます高まるものと考えられる. そのためにもこのような評価法の普及が望まれるとともに, 明らかになった特徴的所見を日常の神経学的診察法に還元して利用していくことが必要だと考えられる.

本研究について終始ご指導をいただいた奈良県立医科大学神経内科 高柳哲也教授ならびにご協力いただいた藤本泰代先生に深謝致します.

文 献

- 1) 眞野行生, 豊島英徳: Duchenne 型筋ジストロフィー症の立位・歩行障害. 神経進歩 35: 300-307, 1991.
- 2) 村川和義・他: 正常小児および進行性筋ジストロフィー症の歩行分析(抄). リハ医学 29: 984, 1992.
- 3) Melkonian GJ, Cristofaro RL, Perry J, Hsu JD, et al: Dynamic gait electromyography study in Duchenne muscular dystrophy. Foot & Ankle 1: 78-83, 1980.
- 4) 豊島明義: 正常人および進行性筋ジストロフィー症の歩行に関する研究. 弘前医学 39: 335-368, 1978.
- 5) 安東範明, 藤本泰代, 安東美波留, 眞野行生・他: Duchenne 型筋ジストロフィー症の新しい歩行分析. 臨床神経 30: 962-968, 1993.
- 6) 安東範明, 高柳哲也, 藤本泰代, 安東美波留・他: 筋ジストロフィー症の新しい靴型装具開発の試み. 神経治療 11 巻 4 号 (印刷中)
- 7) 安東範明, 藤本泰代, 高柳哲也, 眞野行生: 新しい歩行分析による TRH 誘導体 TA-0910 の脊髄小脳変性症に対する効果の検討. 神経治療 10: 217-221, 1993.
- 8) 安東範明, 藤本泰代: 小脳性運動失調の臨床評価法. 神経治療 10: 579-583, 1993.
- 9) 高柳哲也, 安東範明, 藤本泰代: TRH により運動失調が改善した小脳変性症の一例. 治療学 27: 107-108, 1993.
- 10) 高柳哲也, 藤本泰代, 安東範明: 神経ペプチドの治療への応用—TRH とその誘導体. 治療学 27: 61-63, 1993.