

運動発達障害児の体力特性とその測定方法に関する研究 —全身持久力の測定方法について—

札幌医科大学大学院保健医療学研究科 大須田 祐 亮

The study of the specific character of the physical fitness of children with motor developmental disorder and the method that measures them —about cardio-respiratory fitness—

Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University Osuda, Yusuke

要 約

運動発達障害児の体力を測定するためには、多角的な視点から評価を行う必要があり、エネルギー効率についても評価を行うことが重要であると考えた。エネルギー効率の評価指標である Physical Cost Index (PCI)は、歩行可能な運動発達障害児にとって簡便に実施可能な方法であるが、その信頼性・妥当性については様々な報告がある。

本研究では、歩行可能な痙直型脳性麻痺児に対して、対象の基準、実施方法について再検討を行った PCI の測定を行い、その再テスト信頼性、基準関連妥当性について検討を行った。

PCI 測定の再テスト再現性については良好であると判断された。基準関連妥当性については統計処理を行うことができなかったが、呼気ガス分析から得られる O_2 cost の結果と関連する傾向が認められた。

研究結果の汎用性については、2回測定した平均値を用いることが望ましいことが示唆された。

【キー・ワード】 運動発達障害児, 歩行

Abstract

Physical cost index (PCI) is clinical tool to measure the energy expenditure. There are various reports about the reliability and the validity of the PCI for children with motor developmental disability. But the results are different from each other.

The repeatability and the validity of the PCI for them were investigated by revising the method and the criteria of subjects.

From the results, the repeatability was good. The validity was not investigated, because the sample size was not enough to assess the availability

When PCI is used for assessment of the energy expenditure, it is recommended that the mean

of two results of measurement is used.

【Key words】 Physical Cost Index (PCI)

研究背景

わが国の運動発達障害児に対する理学療法 (PT) は、運動学習を重視した治療技法が主流として行われてきた。しかし、これらの治療法には患児の筋力や持久力などの力が心身機能・身体構造と切り離されて考えられてきた背景がある。そのため、このような力を包含する「体力」という概念が運動発達障害児の臨床場面で扱われることは少なく、運動発達障害児に対して PT を行う上で、「体力」が問題点として重要視されてこなかった経緯がある (小塚ら 2005)。

一般的に考えて、体力の低下が日常生活に不利をもたらすことは容易に想像できる。リハビリテーション対象者の生命の質の向上を目指す場合、そのリハビリテーションの目的として体力の向上が挙げられることは少なくないと思われる。運動発達障害児では運動機能の低下が進むことで二次的な運動量の低下、身体活動の低下、体力の低下を招くことが十分に予測される。またそのような二次的な問題から児が持ちうる運動能力も低下するという悪循環につながるものが予想される。よって運動発達障害を有した状態での生命の質を考慮した場合、体力という問題は運動障害と同様に扱っていく必要があると考えられる。

これまで、運動発達障害児の体力、特に全身持久力に関わる研究では、最大酸素摂取量 (VO_{2max}) が指標として用いられてきた。しかし、この VO_{2max} の測定方法は、最大努力が要求されるなど、運動発達障害児が持つ疾患特性や臨床像に見合ったものであるとは言い難く、全身持久力を「どれだけ酸素を体内に取り込むことができるのか」という視点だけで評価することは困難である。そこで、「取り込んだ酸素をどれだけ効率的に使うことができるのか」というエネルギー効率という視点から体力を捉えた指標と併せて全身持久力を総合的に判断する必要があるという考えに至った。

Physical cost index (PCI) は、活動中の酸素摂取量と心拍数との間に直線的な関係が認められることを利用して、一定時間歩行した際のエネルギー効率を心拍数の変動と歩行速度を用いて間接的に測定する指標である (MacGregor 1979)。そのため簡便にエネルギー効率を捉えることが可能であると考えられる。また、呼気ガス分析機を用いて運動中の酸素摂取量と歩行速度の関係からエネルギー効率を測定する O_2 cost (EO_2) とは対称的に、PCI の測定では、特別な機器を必要とせず、計測者の特別な技術も必要としない点が大きな特徴である。さらに、この指標は歩行を運動課題としているため負荷量は自分の体重のみとなり、特別な技能を必要としないので、運動障害がある場合にも測定可能である。

この PCI についてはその信頼性や妥当性について様々な報告がなされている。信頼性については、健常者を対象とした場合、再現性が良好であるという報告と乏しいという報告がある。また、妥当性については健常者において VO_{2max} 、 EO_2 、METs との間に高い相関が報告されており、脳血管障害や CP 児に対する装具療法、運動療法の結果評価に用いられている (上月 2005)。

しかし、脳性麻痺 (CP) 児を対象とした PCI 測定の信頼性および妥当性の検討については、PCI は

EO₂と比較して信頼性が低く、臨床場面ではEO₂の使用が推奨されるとされている(Ijzermanら 2002)。この原因についてはPCIの測定方法が各実験において統一されておらず、測定値の変動に影響を及ぼす要因が多かったことが関係していると考えられる。しかし、この点については、実施方法、および環境設定に改善の余地があると考えられる。

そこで、CP児に対するPCIの測定について、実施方法および環境設定を再度検討し、信頼性および妥当性が認められるか検討する必要があると思われる。

研究目的

本研究ではCP児に対するPCIの測定において、実施方法および環境設定について再検討を行い、測定値の信頼性および妥当性が認められるか検討することを目的とする。

文献レビュー

これまで用いられてきたCPに対する運動負荷試験での指標

Tobimatsuら(1998)は成人のCP者を対象として、上肢エルゴメータを用いて徐々に運動負荷を増していく際のCP群とND者、歩行が可能なCP者と車椅子を使用しているCP者のVO_{2max}を検証しようと試みたが、対象者の全員が上肢の疲労感により運動を中止したために、正確な呼吸循環応答を反映した結果を得ることができなかった。この理由としてND群と比較してCP群で有意に運動効率が低い値を示していたことが関連していると述べている。

その他にも指標としてVT(ventilatory threshold)、RER(respiratory exchange ratio)が文献上見出される(飛松ら 2003)。RERは酸素消費に対する二酸化炭素産生の比である。また、血中に乳酸が増加し始める時点は有酸素運動の限界と考えられ、それは重炭酸系によって緩衝されるので、その結果、肺からの二酸化炭素排出は急激に増加する。その変曲点がVTである。しかしRERは過呼吸が起こっているときや乳酸産生が加わったときは、代謝状態のみを表わすものではなくするため使用が困難であり、VTについては、変曲点の判断が主観的であったり、疲労などによる中止では測定できないなど、CPを対象とする場合には問題が多い(上月 2005)。

運動の効率の指標としては、PCI、EO₂、PCWなどが用いられている。PCWの測定は自転車エルゴメータや上肢・下肢エルゴメータを用い、段階的な負荷をかけて行われる。欠点としてはやはり、呼吸循環系の限界が訪れる前に、肢の疲労によって中止せざるを得ない場合がほとんどであるため、計測が難しいことがあげられる。

PCIについて

PCIは、心拍数を利用したエネルギー効率の指標として1979年、MacGregorによって考案された。活動中の酸素摂取量と心拍数との間に直線的な関係が認められることを利用して、一定時間歩行した際のエネルギー効率を心拍数を用いて間接的に測定する指標である。

オリジナルでの測定方法は、1周25~30mの8の字歩行路を200m歩行することを運動課題としており、安静時と歩行終了後の心拍数および歩行距離を計測し前述の式を用いて算出する、歩行路は円形や楕円形などの形状を用いることもある。また変法として3~5分間の時間を設定し、歩行した際の移動距離を測定する方法も存在する。他にもトレッドミル上での歩行時に測定を行うものもあるなど、それぞれの研究によって用いられている方法が違うなどの問題がある。

PCIは、自由歩行の状態でも測定できるため、かなりの歩行障害がある場合でも利用できる利点がある。ただし、臨床においてPCIを測定する場合、心拍数は運動以外の要因によっても変化する点に注意が必要である。心疾患や高血圧に対する一部の薬剤は、運動に対する心拍数の増加を抑制することがある。また、精神的緊張は安静時の心拍数を増加させる (Tobimatsuら 2003)。

CP児に対するPCI測定の適応

Roseら(1989)は痙直型両麻痺児13名(CP群)、ND児18名(ND群)の計31名を対象に、歩行時の酸素摂取量と心拍数の間に直線的な相関関係がみられるか検討し、歩行速度についてはCP群でND群よりも有意に低かったが、両群ともに広い歩行速度の範囲にわたって良好な結果が得られたことを報告している(CP群 $r=0.84$, ND群 $r=0.83$)。このことから、PCIの測定において痙直型両麻痺児を対象とすることは可能であると考えられる。

PCIの信頼性と妥当性

健常者における検討では、信頼性についてBailey(1995)は、15名の女性を対象者としてトレッドミル上でのPCIの測定において再現性が良好であった($r=0.868$)ことを報告している。これは、非定常状態または運動直後の心拍数の測定から算出した場合と比較して、定常状態での心拍数の測定により算出されたもので、より高くなったと述べている。しかし再現性については非定常状態、定常状態どちらにおいても認められるということであった。

またRaja(2007)は15名の健常児を対象に50m歩行時のPCIの再現性が高いことを報告している($ICC=0.80$)。この中でも前述のBaileyの考察を引用し、定常状態での測定の重要性に言及している。

一方で、Hood(2002)は、20名の健常者と17名の脊髄損傷患者を対象に10分間のトレッドミル歩行におけるPCIの比較を行ったところ、健常者において $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{E}O_2$ と比較して再現性に乏しかった($ICC=0.744$)ことを報告している。また非定常状態ではPCIの再現性がさらに低くなる($ICC=0.589$)ことを示している。この研究では心拍数の変動について、運動中の心拍数の積算値を運動時間で除した値(THBI: the total heart beat index)を用いており、これが、心拍数の変動に影響を及ぼす因子を取り除くのに寄与したと述べている。

CPにおける検討では、Raja(2007)は15名のCP児を対象に、50m歩行時のPCIの再現性が高かったことを報告している($ICC=0.88$)。この中で、PCIの再現性についてICCを用いて検討したものが少ないため、他の研究結果との比較が困難であることが述べられている。

Ijzermanら(2002)は、CP者12名を対象として、160mの自由歩行において、歩行による心拍数変動と終了時心拍数それぞれの計測の信頼性が $r=0.66$, $r=0.62$ であったことを示している。また、

同時に測定した EO_2 に比べて ICC が低かったことを示している。以上のことから、臨床評価では PCI よりも EO_2 が推奨されると述べている。

しかし、両者の実験においては対象の病型が限定されておらず、歩行器の使用などについても制限を設けていないなど、改善すべき点が存在する。

PCI 測定における改善点

エネルギー効率は仕事の種類（作業強度や速さ）、年齢や性別などの影響を受ける。一定量の仕事を行うのに作業時間を短くすると作業強度は大きくなり、効率は低下する。作業の速さを遅くすると仕事に直接的に費やされるエネルギー量は減少するが、仕事に伴うエネルギー消費は多くなり、作業時間も長くなるため、全体としてエネルギー必要量は増加してしまう。エネルギー必要量が最も少なくなる作業の速さがあり、これを至適速度（optimal speed）あるいは経済速度という（中村ら 2002）。

PCI 測定時の歩行速度について、Rose ら（1991）は 102 名の ND 児（6～18 才）を対象に歩行速度と PCI の測定結果との関係について、遅い速度および速い速度での値よりも、自由歩行で最も低値を示したことを報告している。

これは、一定距離を移動するのに歩行速度を速めれば、所要時間は短縮されるが、作業強度は大きくなり、単位時間に消費されるエネルギーは増加する。歩行速度を遅くすれば、所要時間は延長し、姿勢保持などに費やすエネルギーが増加してしまう。よって、歩行では自由歩行における歩行速度が至適速度となることがわかる。

歩行路について、Graham（2005）は、ND 者 40 名を対象者として 8 の字歩行路の長さを 12m と 20 m に設定し、その違いが PCI に与える影響について検討した。結果、信頼性についてはどちらも認められるというものであった。しかし、臨床場面で使用する場合には 20m で有意に歩行速度が増したことから、20m が推奨されるということであった。

対象についての検討

Therese ら（2004）は、CP 児の自由歩行の際の呼気ガス分析を実施したところ、粗大運動能力の指標である粗大運動機能分類システム（Gross motor function classification system, GMFCS）レベルが低い児ほど、歩行中の酸素消費量が有意に増加すること、また異なるレベルにおける酸素消費量に有意な差があったことを報告している。この理由として、使用している杖や歩行器などの補助具の存在が関与した可能性について言及しており、特に後方支持型歩行器の使用が大きく関与したのではないかということ述べている。

研究の限界

本研究は対象となる病型、麻痺の種類、粗大運動能力を限定して行うため、この他の病型、麻痺の種類を有する児に対して、この研究結果が当てはまるとは限らない。

研究の意義

運動発達障害児を対象とした体力測定のひとつとして、複数の施設で簡便に実施が可能で、できる限り実際の身体運動に即した形式での測定方法の確立につながる。

倫理的配慮

対象となる児、およびその保護者に対して書面・口頭説明によるインフォームドコンセントを行い、承諾書への署名を得た。また、本研究は札幌医科大学倫理委員会の承認を得た後に研究活動を開始した。

対 象

北海道の養護学校および療育施設に在籍または入所、外来通院する CP（痙直型両麻痺）児で、粗大運動能力が GMFCS レベル I, II, III に属するものとした。レベル I は装具などを用いることなく歩行が自立しているレベルであり、II, III では装具などを用いて歩行が自立しているレベルである。また、詳細な取り込み基準、除外基準については下記の通りに定めた。

取り込み基準

- ・脳性麻痺の種類として痙直型両麻痺という診断が医師により下されているもの。
- ・測定に際しての口頭指示が理解できるもの。

除外基準

- ・呼吸器、循環器、消化器に重篤な障害を有するもの。
- ・急性および慢性感染症を罹患していないもの。
- ・測定日に採血や人工的に体内の血液量や成分を高める治療がなされているもの。
- ・GMFCS レベルが II および III に含まれる児であっても、後方支持型歩行器の使用により歩行が自立しているもの。
- ・両麻痺であっても身体機能の左右差が著明なもの。

方 法

PCI の測定手順

- 1) 五分間安静座位を取り、最後の1分間の心拍数[beats/m]をパルスオキシメータ（2500 パームサット, Nonin 社）にて測定する。この値を安静時心拍数とする。
- 2) その後、半径 1.59m の円を 2 つ隣り合わせた 8 の字歩行路（1 周約 20m）を 10 周、好みの速さ

にて自由歩行し、所要時間を測定する。

- 3) 終了後すぐに安静座位をとり、パルスオキシメータにて1分間心拍数を測定する。

この心拍数を歩行時心拍数とする。

- 4) 下記の式のとおり、歩行時心拍数と安静時心拍数の差の値を歩行速度により除した値を PCI [beats/m]とする。

$$\text{PCI} = \text{歩行時心拍数} - \text{安静時心拍数} / \text{歩行速度}$$

測定条件

日常生活において下肢装具を装着して歩行が自立している対象者は、測定時も装具を装着した状態で実施することとする。万が一、疲労困憊や胸痛により完走し切れない場合には、その時点で測定を中止することとした。

心拍数は運動以外の要因によっても変化する。そのため計測は屋内に限定し、室温は大きく変化しないように整備した。

PCIの信頼性の検討

疲労や運動学習の影響を除去するために、一回目の測定から1日以上間隔をおいて、改めてPCI測定を行った。得られた一回目と二回目の結果との間に、どの程度の一致度が認められるかという再テスト信頼性について検証した。なお、使用機器、測定手順、測定条件は一回目と同様とした。

PCIの妥当性の検討

PCIの測定中に携帯型呼気ガス分析器 (V02000, Medical Graphics Corporation 社) を装着し、外的基準として設定した EO_2 の測定を同時に行った。両者の測定結果の間に相関関係が存在するかという基準関連妥当性について検証した。

統計手法

PCIの再テスト再現性については、級内相関係数 (ICC (1, 1)) を用いて統計処理を行った。なお、統計処理には Dr. SPSS11.5 for Windows を用いた。

結果

各対象児のプロフィールを表1に示す。対象者は9名であり、平均年齢は11.2(標準偏差SD4.0)[才]、平均身長は131.2(SD16.4)[cm]、平均体重は31.3(SD9.4)[kg]であった。

PCI 測定において、中止することになった対象者はいなかった。各対象者における各測定結果については表 2 のとおりになった。

PCI 測定の再テスト再現性は ICC(1, 1)=0.869 [beats/m] (95%CI= 0.553-0.968, $p < 0.0005$, 標準誤差 SEM=0.04) であった (図 1)。

また、基準関連妥当性についての検討については、3 名の測定となり、統計処理を行うことができなかった。3 名の結果については表 3 のとおりになった。

表 1 対象児のプロフィール

case	年齢[才]	性別	身長[cm]	体重[kg]
1	12	女	138	37
2	13	女	140	31
3	7	女	119	29
4	16	女	143	42
5	10	男	117	22
6	11	女	131	35
7	7	男	115	22
8	18	男	163	46
9	7	男	116	20

表 2 各試行での測定結果

	歩行速度[m/min]	PCI[beats/m]
一回目	31.21 (13.98)	0.45 (0.19)
二回目	31.42 (12.35)	0.47 (0.17)

※ 平均値 (標準偏差)

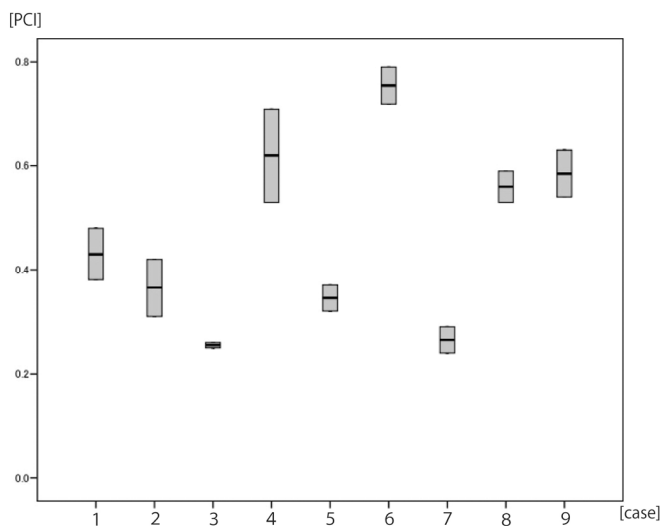


図 1 各対象者における PCI の分布

※ 箱の中央線を中央値、箱の上下辺を四分位範囲として示している。

表3 同時に測定を行った E_O₂ と PCI の結果

PCI [beats/m]	E _O ₂ [ml/kg/m]
0.20	5.84
0.24	6.14
0.60	14.71

【考察】

再テスト再現性の評価

再現性を求める指標としてピアソンの相関係数が従来の研究において用いられてきたが、一貫性を示すことはできるが一致度を明らかにすることはできない、真の分散と誤差の分散を分けていないなどの要因により、現在では信頼性の指標としては不相当とされている。また一致度を検討するために t 検定などを用いて平均値の差を検討することのみでは信頼性の指標としては不十分とされている。これらの問題を考慮した信頼性の指標として、全分散に対する真値の分散の割合で示される ICC が考案された。ICC は複数回測定したときの測定値の一致度・一貫性を示す信頼性の指標であり、分散分析法を基礎にして得られる。ICC の中でも検者内信頼性を求める際には一元配置分散分析法を基礎として求められる ICC (1, 1) を用いるのが適当とされている (関谷 1999)。

そこで本研究では、PCI 測定の再テスト再現性を ICC を用いて検討した。ICC の信頼性の基準は 0.9 以上を Great, 0.8 以上を Good, 0.7 以上を Fair, 0.6 以上を Possible, 0.6 未満を Re-Work とされている (桑原 1993)。この基準を参考にすると、ICC(1, 1)=0.869 であり、Good であった。このことから ICC の信頼性の基準に照らし合わせると再テスト再現性が良好であると判断できる。CP 児に対する PCI の信頼性について ICC を用いた先行研究はわずかであるが、Ijzerman らの報告では 0.89, Raja の報告では 0.88 と本研究と同程度の値が示されている。

基準関連妥当性について

本研究において呼気ガス分析器を装着して E_O₂ を測定できたのは 3 名であった。このため、PCI の基準関連妥当性について、統計処理を行って検討することができなかった。3 名の結果から、関連が認められる傾向があるが、今後は対象者の規模を拡大して、さらに考察を深める必要があると思われる。

対象選別・実施方法の評価

本研究では対象児について CP の類型、麻痺の分布について基準を設けて選定を行った。先行研究では脳性麻痺であることのみが対象の基準として設けられており類型、麻痺の分布について基準は設けられていない。しかし、いかなる運動課題の遂行においても、運動麻痺や不随意運動の影響は大きいと考えられるため、類型、麻痺の分布には基準を設けることは不可欠である。本研究において、良好な再テスト再現性が得られたのもこの点が大きく関与していると推測される。

また、心拍数についても変動に影響を及ぼすと考えられる因子について除外基準を設けて対応を図ったことも再テスト再現性が良好であった要因として考えられる。この点は先行研究にはみられない

点である。しかし、歩行中の心拍数測定については、経時的なモニタリングが機器の性能上困難であり、記録ができなかった。今回は PCI の算出に歩行前後での心拍数の値のみを用いたが、対象者によって、測定中の歩行速度の変動に個人差がみられたことから、歩行中の心拍数変動している可能性は十分に考えられるため、周回毎などのより短い間隔で経時的に PCI を算出していくことが信頼性、妥当性を検討する上でさらに必要であったと思われる。

研究結果の汎用性

得られた ICC (1, 1) の係数値を ρ_1 とし、目標とする係数値を ρ_2 とすると、何 (k) 回繰り返し測定した平均をデータとして用いれば高い信頼性が保証されるかを以下の式によって導くことができる (対馬 2007)。

$$k = \rho_1(1 - \rho_2) / \rho_2(1 - \rho_1)$$

ここで、本研究結果から $\rho_1 = 0.869$ 、目標とする係数値を $\rho_2 = 0.9$ とするとき、必要な測定回数は $k \approx 1.3$ となり、小数桁を繰り上げると、実際の測定を行う際に十分な信頼性を得るためには 2 回測定した平均をデータとして用いることが望ましいことが示唆された。

今後の課題としては、複数の検者により同様の測定を行い、検者間信頼性を求めた上で、研究結果の汎用性について判断することがさらに必要であると考えられる。

結 論

運動発達障害児の体力を測定するためには、様々な問題が存在しており、多角的な視点から評価を行う必要がある。運動発達障害児の体力を評価する上で、エネルギー効率の側面を捉えることが重要であると考えられた。

エネルギー効率を評価する一つの指標である PCI は歩行可能な運動発達障害児にとって簡便に実施可能な方法であるが、その信頼性については様々な報告がある。

本研究では、歩行可能な痙直型 CP 児を対象として、対象の基準、実施方法について再検討を行った PCI の測定を行い、その再テスト信頼性、外的基準関連妥当性について検討を行った。

PCI 測定の再テスト再現性については ICC (1, 1) = 0.869 であった。このことから PCI の再テスト再現性は良好であると判断されたが、この原因としては対象者の選別に基準を設け、心拍数の変動に影響する因子を除外したことが関与したと考えられる。

PCI 測定の基準関連妥当性については、統計処理を行って検討することができなかったが、関連が認められる傾向があるため、今後は対象者の規模を拡大して、さらに検討を進めることが必要である。

研究結果の汎用性については、実際の測定の際には十分な信頼性を得るためには、2 回測定した平均値を用いることが望ましいことが示唆された。今後、対象児の運動能力について詳細に基準を設け、複数の検者による検者間信頼性を求め、判断することがさらに必要であると考えられた。

引用文献

- Bailey M.J., Ratcliffe C.M.: Reliability of physiological cost index measurements in walking normal subjects using steady-state, non-steady state and post-exercise heart rate recording. *Physiotherapy*, 1995
- Graham RC, Smith NM, White CM: The reliability and validity of the physiological cost index in healthy subjects while walking on 2 different tracks. *Arch Phys Med Rehabil* 86:2041-2046, 2005
- Hood VL, Granat MH, Maxwell DJ, Hasler JP: A new method of using heart rate to represent energy expenditure: the Total Heart Beat Index. *Arch Phys Med Rehabil* 83:1266-1273, 2002
- Ijzerman MJ, Nene AV: Feasibility of the physiological cost index as an outcome measure for the assessment of energy expenditure during walking. *Arch Phys Med Rehabil* 83:1777-1782, 2002
- Johnston TE, Moore SE, Quinn LT, et al: Energy cost of walking in children with cerebral palsy: relation to the Gross Motor Function Classification System. *Dev Med Child Neurol* 46:34-38, 2004
- 小塚直樹, 横井裕一郎: 脳性麻痺時の体力特性とその測定方法. *理学療法* 22 : 242-248, 2005
- 桑原洋一: 検者内および検者間の Reliability (再現性, 信頼性) の検討. *呼吸と循環* 41:945-952, 1993
- MacGregor J: The objective measurement of physical performance with long term ambulatory physiological surveillance equipment (LAPSE). *Proceedings of the Third International Symposium on Ambulatory Monitoring*, London Academic Press p29-39, 1979
- 中村隆一他: 歩行. 中村隆一編 臨床運動学第3版 東京 医師薬出版株式会社 p473-588, 2002
- Raja K, Joseph B, Benjamin S, et al: Physiological cost index in cerebral palsy: its role in evaluating the efficiency of ambulation. *J Pediatr Orthop* 27:130-136, 2007
- Rose J, Gamble JG, Medeiros J, et al: Energy cost of walking in normal children and in those with cerebral palsy: comparison of heart rate and oxygen uptake. *J Pediatr Orthop* 9:276-279, 1989
- Rose J, Gamble JG, Lee J, et al: The energy expenditure index: a method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 11:571-578, 1991
- 関谷昇: 再検査法による測定の信頼性の検討方法. *理学療法ジャーナル* 33:653-659, 1999
- Tobimatsu Y, Nakamura R, Kusano S, et al: Cardiorespiratory endurance in people with cerebral palsy measured using an arm ergometer. *Arch Phys Med Rehabil* 79:991-993, 1998
- 飛松好子: 脳性麻痺者. *総合リハビリテーション* 31:735-738, 2003
- 対馬栄輝: SPSS で学ぶ医療系データ解析. 東京図書 p195-214, 2007
- 上月正博: 呼吸・循環. 岩松力, 飛松好子編 障害と活動の測定・評価ハンドブックー機能から QOL まで 東京 南江堂 p56-72, 2005

