

小児における認知課題遂行と姿勢制御の相互作用に関する研究

深見 真也¹⁾, 井上 和博²⁾, 深野 佳和²⁾

要旨 姿勢課題と認知課題の二重課題パラダイムを用いて、認知課題付加による立位姿勢制御に及ぼす影響について検討した。小児26名（平均月齢68.76±3.16ヶ月）を対象とし、対象者を開脚立位群と閉脚立位群の2群に分け、姿勢課題のみの基準条件と認知課題を付加した二重課題条件を実施した。認知課題は、記憶課題と視覚課題の2種類を、2つの難易度にて実施した。その結果、閉脚立位時の易視覚課題付加により身体動揺が有意に減少を示した。また、開脚立位では身体動揺の変化を示さなかった。本研究での静止立位保持と認知課題の二重課題の場合、これらの課題を同時に行うように行きプランにより統合されたため、二重課題干渉が生じなかったと考えられる。その過程で、認知課題へ注意を向けるために身体動揺の自由度を制限（フリーズ）させたことにより、閉脚立位では身体動揺減少が生じた。他方で、開脚立位では元来身体動揺が小さいためそれ以上の動揺減少が生じなかった。

キーワード : 二重課題, 身体動揺, 姿勢制御, 認知課題, 小児

緒言

従来、姿勢制御は自動的または反射コントロールの下で行われ、姿勢制御システムは最小の注意しか必要としないと考えられていた¹⁾。しかし、最近の研究では、姿勢制御には筋骨格系、神経系、感覚系、さらには認知的な要素が互いに密接に関与すると同時に、注意、動機、意志などの高次情報処理過程も影響を及ぼすと考えられている²⁾。

静止立位での重心動揺研究は、小児から高齢者までを対象に多く行われ³⁻⁵⁾、重心動揺は6~20歳までは年齢とともに減少し、10~15歳で成人と有意差がなくなり、20歳代で最も小さくなることが示されている。小児の重心動揺が大きい理由として、Hirabayashiら⁶⁾は、姿勢制御に必要な前庭系・体制感覚系・視覚系の発育発達過程が加齢によって変化するためと述べ、最初は体性感覚器系が発達して3~4歳で成人と同水準まで達し、次に視覚器系が発達して15歳で成人レベルになり、最後に前庭器系が発達すると報告している。また、Hellebrandtと

Braun⁷⁾は、神経の髄鞘化がまだ完成しておらず神経学的に発達が不十分であること、下肢の発育が不十分で重心が相対的に高い位置にあること、抗重力筋の発育が不十分で筋力が弱いこと、精神的に落ち着きがないことを挙げている。

最近の姿勢制御の研究では姿勢制御と注意の係に着目して、二重課題パラダイムを用いて報告されている^{1,8-16)}。これらの研究では、第一課題として姿勢課題、第二課題として認知課題を同時に遂行させている。姿勢課題としては、座位、開脚立位、閉脚立位、Mann肢位、片脚立位などが採用されている。これらの姿勢には注意処理要求に基づく階層性があり、座位や開脚立位よりMann肢位や片脚立位は注意の必要性が多くなると考えられる。また、認知課題としては、数唱課題、計算課題、聴覚反応課題、視覚反応課題、Stroop testなどが採用されており、主に記憶を用いる課題と主に知覚判断を用いる課題とそれらが混合する課題に分けられる。

姿勢課題と認知課題の二重課題研究は、若年成人を対

¹⁾鹿児島大学大学院保健学研究科保健学専攻（博士後期課程）

²⁾鹿児島大学医学部保健学科作業療法学専攻臨床作業療法学講座
連絡先：深野佳和

〒890-8544 鹿児島市桜ヶ丘8-35-1

Tel/Fax : 099-275-6745

E-mail: fukano@health.nop.kagoshima-u.ac.jp

象とした研究^{1, 8-10)}、高齢者を対象とした研究¹¹⁻¹²⁾、脳卒中やパーキンソン病患者を対象とした研究¹³⁻¹⁴⁾が多く行われているが、小児を対象とした二重課題研究^{15, 16)}は国外で一部報告されている程度で少ない。また、これらの研究結果では、成人・小児とも認知課題付加により姿勢動揺が増加するという報告と減少するという報告があり、一定の見解が得られていない。この理由として、姿勢制御に認知課題が及ぼす影響が対象者の年齢、課題の種類や難易度によって異なること、認知課題以外の潜在的混乱要因（発話や上肢の動きや覚醒など）により左右されることが挙げられる¹⁾。

小児を対象とした二重課題研究として、Blanchardら¹⁵⁾は8～10歳児に閉脚立位にて逆唱課題を実施させたところ、動揺幅の減少を示した。一方、Reillyら¹⁶⁾は4～6歳児、7～12歳児に開脚立位・Mann肢位にて視覚性ワーキングメモリ課題を実施させたところ、4～6歳児は両姿勢とも身体動揺が増加したが、7～12歳児では両姿勢とも変化がなかったことを示した。このことより、6歳以下の小児は二重課題干渉を受けやすいが、7歳以上の小児は二重課題干渉を受け難いことがわかり、年齢を重ねるにつれて干渉を受けにくくなることがわかる。

本研究では、まだ二重課題干渉を受けやすいと思われる5、6歳の小児を対象とし、主に記憶を用いる数唱課題と主に知覚判断を用いる数字列の音読課題の2種類を2つの難易度にて実施し、課題の種類・難易度により、二重課題干渉に相違があるかを検討する。つまり、本研究の目的は、注意を要する認知課題を付加することが立位姿勢制御に及ぼす影響を検討することである。

「立って計算問題を解く」ように、小児の頃から日常生活で姿勢制御しながら認知課題を遂行しなければならない場面は多く存在する。本研究により、小児の二重課題遂行時の姿勢制御能力や認知処理能力の特性を明確にすることができる。このことにより、認知・姿勢相互作用の基本的メカニズムの理解が進む上に、姿勢制御に問題をきたす脳性麻痺や自閉症スペクトラムなどのリハビリテーションを検討する上での一助となると考えられる。

方 法

1. 対象

許可の得られた鹿児島市内の幼稚園に通園する5、6歳児で、整形外科的・神経学的疾患の既往のない小児26名（平均月齢68.76±3.16、男児16名、女児10名）を対象とする。実施期間は平成23年7月～9月である。

実験に先立ち、対象児の保護者に対し「臨床研究に関する倫理指針」（厚生労働省）に則って作成した説明文書を用い、実験の趣旨を十分説明し、参加の同意を得た。なお、本研究は鹿児島大学医学部疫学・臨床研究倫理委

員会の承認を得ている（受付番号186号）。

2. 手続き

本研究では、立位課題と認知課題の二重課題遂行時における静止立位姿勢動揺を測定した。立位課題のみの単一課題（基準条件）を実施後、立位課題と認知課題の二重課題（実験条件）を実施した。

(1) 群の編成

無作為に開脚立位群（肩幅に足を開く）と閉脚立位群（両足の内側を密着させる）の2つの姿勢群に分けた。両姿勢とも裸足で、両上肢は体側に下垂させて行った。

(2) 基準条件（単一課題）

「正面を向き、できるだけまっすぐ立ってください」と教示し、30秒間静止立位を保持させた。注視点は設置しなかった。

(3) 実験条件（二重課題）

立位課題と同時に第2課題として、主にワーキングメモリなどの認知を必要とする記憶課題と、主に知覚を必要とする視覚課題を採用し、易課題と難課題の2つの難易度にて実施した。つまり、以下の4条件である。

条件1-1：難易度の低い記憶課題（以下、易記憶課題）

条件1-2：難易度の高い記憶課題（以下、難記憶課題）

条件2-1：難易度の低い視覚課題（以下、易視覚課題）

条件2-2：難易度の高い視覚課題（以下、難視覚課題）

課題による発話影響の差を少なくするために、記憶課題・視覚課題ともに発話を伴う課題として実施した。

記憶課題

記憶課題は聴覚性言語性短期記憶（ワーキングメモリ）の検査である数唱（Digit Span）¹⁷⁾を参考にして、易課題として順唱を、難課題として逆唱を採用した。前テストとして、椅子座位にて逆唱を実施し、本実験で使用する桁数を決定した。提示する数字は2桁から開始し、正解したら桁数を1つ増やし、2回連続不正解となった桁数から1つ減らした桁数を、その被験者の逆唱桁数とした。順唱桁数は逆唱桁数と等しいものとした。

「正面を向き、できるだけまっすぐ立ってください」と教示し、30秒間静止立位を保持しながら開眼で課題を行わせた。注視点は設置しなかった。

視覚課題

視覚課題は数字列の音読課題であるDevelopmental eye movement test¹⁸⁾（以下、DEMテスト）を参考にして、易課題として等間隔に並んだ1桁の数字列を縦方向に音読する課題を、難課題としてランダムな間隔で並んだ1桁の数字列を横方向に音読する課題を採用した。

「正面を向き、できるだけまっすぐ立ち、できるだけ早く音読してください」と教示し、30秒間静止立位を保持しながら課題を行わせた。課題は、各参加者の目の高

さで、目の位置から1.5m前方の壁に提示した。

以上の二重課題は各条件2試行ずつ行った。各条件の実施順は順序効果を除外する目的から、ランダム順序で行った（各被験者：基準条件2試行，二重課題条件4×2=8試行，計10試行実施）。各条件の間には1分間の休憩をとりながら行った。

3. 器具及び測定

静止立位動揺の記録は床反力計（ニッタ株式会社製マツトスキャン ニッタ圧力分布測定システム）を使用し、基準条件及び各課題遂行時の立位姿勢動揺を足圧中心（以下、COP）により30秒間にわたり記録する。各課題遂行時における立位姿勢動揺データから、総軌跡長（cm）、外周面積（cm²）、X中心平均変位（cm）、Y中心平均変位（cm）を求める。X中心平均変位とは、中心基準点から荷重中心の平均位置のX軸（左右方向）に対する変位量（左：-，右：+）で、Y中心平均変位とは、Y軸（前後方向）に対する変位量（前：+，後：-）である。

4. 統計処理

SPSS ver.20を用いて以下の統計処理を行った。

認知課題なし（基準条件）と認知課題ありとの影響を検討するために、姿勢要因（2：開脚立位群，閉脚立位群）×認知課題要因（5：基準条件，易記憶課題，難記憶課題，易視覚課題，難視覚課題）の2要因分散分析を行った。

結果

対象者26名を，ランダムに開脚立位群13名，閉脚立位群13名に分けた。但し，開脚立位群の2名，閉脚立位群の1名は標準偏差基準法に基づき一部条件で外れ値を示したため分析から除外した。また，閉脚立位群の1名は一部条件を実施不能であったため分析から除外した。従って，実際の分析対象は22名で開脚立位群11名（平均月齢68.64±2.65ヶ月，男児6名，女児5名），閉脚立位群11名（平均月齢68.40±3.34ヶ月，男児7名，女児4名）である。

記憶課題は，前テストにて全対象者とも3桁の逆唱を理解することが困難であり，2桁にて実施した。

1. 総軌跡長（図1参照）

主効果，交互作用とも有意差を認めなかった（姿勢F=1.88，ns；認知課題F=1.11，ns；姿勢×認知課題F=0.98，ns）。

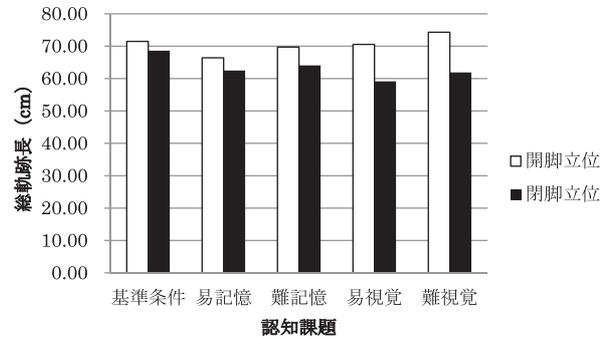


図1 姿勢-認知課題別の総軌跡長

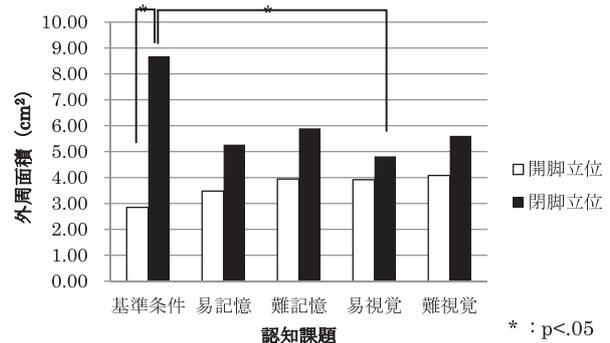


図2 姿勢-認知課題条件別の外周面積

2. 外周面積（図2参照）

まず，姿勢の主効果（F=4.69，p<0.05）を認めた。つまり，開脚立位群（平均3.65±1.82cm²）が閉脚立位群（平均6.05±4.28cm²）より有意に小さかった。次に，姿勢×認知課題の一次交互作用（F=4.42，p<0.05）で有意差を認め，単純主効果の結果，基準条件における姿勢（F=10.47，p<0.01），閉脚立位における認知課題（F=4.64，p<0.05）で有意差を認めた（図2）。多重比較の結果，基準 易視覚（p<0.05）で有意差を認めた。つまり，基準条件において開脚立位群（平均2.85±1.17）は閉脚立位群（平均8.68±5.86）より有意に小さかった。また，閉脚立位において易視覚（平均4.82±3.11）は基準条件（平均8.68±5.86）より有意に小さかった。

認知課題の主効果は有意差を認めなかった（F=1.50，ns）。

3. X中心平均変位（図3参照）

姿勢の主効果（F=7.53，p<0.05）を認めた。つまり，開脚立位群（平均-0.72±0.98cm）が閉脚立位群（平均-0.04±0.24cm）よりCOPの位置が左側によっていた。

認知課題の主効果，姿勢×認知課題の一次交互作用は有意差を認めなかった（認知課題F=0.69，ns；姿勢×認知課題F=0.512，ns）。

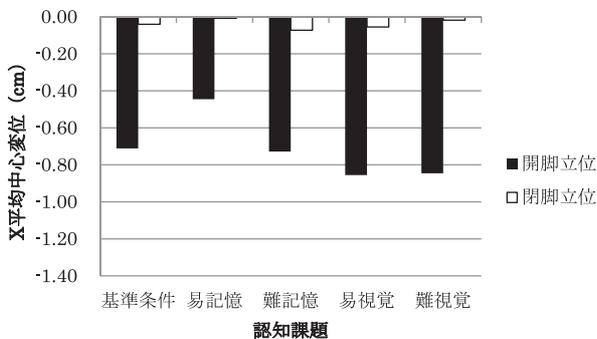


図3 姿勢—認知課題別のX平均中心変位

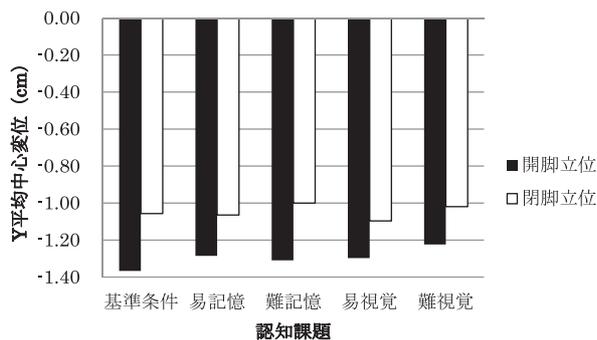


図4 姿勢—認知課題別のY平均中心変位

4. Y中心平均変位 (図4参照)

主効果, 交互作用とも有意差を認めなかった (姿勢 $F=2.68$, ns; 認知課題 $F=0.86$, ns; 姿勢 \times 認知課題 $F=0.53$, ns)。

考察

1. 姿勢課題

本研究では, 開脚立位群と閉脚立位群の2群に対象者を分けて実施したところ, 総軌跡長において有意差はみられなかったが, 外周面積において有意差がみられた。総軌跡長を動揺の量, 外周面積を動揺の幅と捉えると, 支持基底面の変化により動揺量は変わらず, 動揺幅のみ変化していること示す。つまり, 開脚立位では小刻みに速く動揺しており, 閉脚立位では大きくゆっくりと動揺していることを示している。時田ら¹⁹⁾は, 直立立位時の身体動揺には緩徐な動揺と速い動揺があり, 緩徐な動揺は主として迷路性の立ち直りを示し, 速い動揺は筋の自己受容器からの立ち直りを示すと推論している。この推論に基づく, 支持基底面の減少により, 安定性が低下して頭部動揺が大きくなったことで, 迷路性の立ち直りが起きていたと考えることができる。

前後左右の身体動揺に関しては, 開脚立位群と閉脚立位群ともに左側・後方にCOPの位置があることが示され, これは先行研究結果と一致している²⁰⁾。左右の身体動揺で開脚立位群と閉脚立位群に有意差を認めることについて

は, 足底の位置が左右方向に広がったことにより, COPの位置もやや左側に移動したためと考えられる。

2. 認知課題の影響

総軌跡長・外周面積の認知課題の主効果は認められなかった。Shumway-CookとWoollacottは注意と姿勢に関する研究のレビューをまとめ¹⁾, 姿勢制御 (第一課題) と認知課題 (第二課題) の二重課題を遂行すると, いずれかのまたは両方のパフォーマンスが低下すると述べ, Kahnemanの注意情報処理容量モデルにより説明している。このモデルに基づく, 姿勢制御機能, 注意機能ともに未熟な5, 6歳の小児では認知課題付加 (特に難課題付加) では二重課題干渉が生じやすく, 身体動揺が増加すると推測される。本研究結果はこの推論と相反しており, 小児における姿勢と認知の二重課題は, 単純にKahnemanの注意情報処理容量をのみでは解釈できないことが示された。

Neumann²¹⁾は, 認知課題を付加され注意資源を競う2つの課題が葛藤する際, 注意資源を競う2つの課題は独立した行動ではなく, 行為プランを必要とする1つの高次スキルへ支配神経系によって統合されると述べている。今回の静止立位と認知課題の二重課題の場合, これらの課題を同時に行うように行為プランが立てられたため, 二重課題干渉が生じなかったと考えられる。

3. 姿勢と認知課題の交互作用

本研究において, 5, 6歳児に閉脚立位で易視覚課題の際に身体動揺減少を認めたが, その他の課題の際には身体動揺に変化を認めなかった。また, Blanchardらは8-10歳児に閉脚立位で逆唱課題の際に身体動揺減少を認め, Rileyらは成人に閉脚立位で記憶課題の際に身体動揺減少を認めている。このことより, 年齢があがるにつれて, 身体動揺減少が明確に生じやすくなっていることがわかる。これは, 二重課題経験が増し, 統合する能力が上がるためと考えられる。2課題の統合は, 自分の注意容量内で2つの課題を処理できるようにするために行われる。成人は二重課題の経験が豊富であり, 比較的どんな課題でも統合することができるが, 小児, 特に5, 6歳児は統合しやすい課題と統合しにくい課題があるのではないだろうか。本研究結果では, しっかりと統合された易視覚課題では身体動揺が減少したが, 統合が完全ではなかった易記憶・難記憶・難視覚では身体動揺に変化を認めなかったと考えられる。

統合により身体動揺が減少する理由として, Blanchardら¹⁵⁾, Rileyら⁹⁾ともに統合の過程で注意を認知課題に向けるために身体自由度を制限 (フリーズ) させたとしており, 本研究での身体動揺減少もこれにより説明がで

きる。また、開脚立位で身体動揺の変化が生じなかった理由として、姿勢制御において身体は絶えず動揺しており完全に静止することはなく、身体動揺減少には限界があることが挙げられる。開脚立位は比較的安定した姿勢であり、もともと身体動揺が小さいため、統合によりフリーズしたとしてもそれ以上の動揺減少が数値に表れなかったと考えられる。

他方で、同年齢の小児を対象としたReillyら¹⁶⁾の研究では、開脚立位・Mann肢位にて視覚性ワーキングメモリ課題を実施し、両姿勢とも身体動揺の増加を示した。Reillyらの研究で用いられた認知課題は正答率が70%になるように調整された課題であり、本研究の認知課題よりも難易度が高かった。姿勢制御機能、注意機能ともに未熟で、二重課題経験も少ない5,6歳児では、認知課題の難易度が低ければ課題の統合が生じるが、難易度が高くなると二重課題干渉が生じ、身体動揺の増加につながると考えられる。

文 献

- 1) Shumway-Cook A, Woollacott MH: Attention and control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait and Posture* 2002; 16: 1-14
- 2) Shumway-Cook A, Woollacott MH(著): *Motor Control; Theory and Practical Applications*. 田中繁, 高橋明(監訳): モーターコントロール 運動制御の理論と臨床応用. 医歯薬出版, 東京, 1999, p117-141
- 3) 平沢弼一郎: 日本人の直立能力について. *人類誌* 1979; 87: 81-92
- 4) 平林千春, 田口喜一郎: 小児の発育に伴う重心動揺の定量的変動. *Equilibrium Research* 1985; 44: 252-256
- 5) 坂口正範: 小児の重心動揺および頭部動揺の年齢の変動. *Equilibrium Research* 1989; 48: 341-350
- 6) Hirabayashi S, Iwasaki Y: Developmental perspective of sensory organization on postural control. *Brain and Development* 1995; 17: 111-113
- 7) Hellebrandt FA, Braun GL: The influence of sex and age on the postural sway of man. *American Journal of Physical Anthropology* 1939; 24: 347-360
- 8) 冷水誠, 森岡周, 松尾篤, 他: 指標運動および認知課題が立位姿勢制御に及ぼす影響. *総合リハビリテーション* 2005; 33: 1145-1148
- 9) Riley MA, Baker AA, Schmit JM, et al: Effects of visual and auditory short-term memory tasks on the spatiotemporal dynamics and variability of postural sway. *Journal of Motor Behavior* 2005; 37: 331-324
- 10) 片岡保憲, 越智亮, 和田隆二, 他: 引き算を伴う同時二重注意要求課題は立位姿勢動揺を抑制する. *理学療法科学* 2007; 22, 235-238
- 11) Woollacott A, Shumway-Cook MH, Kerns KA, et al: The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *Journal of Gerontology Medical Sciences* 1997; 52: 232-240
- 12) 島浩人, 池添冬芽: 加齢による二重課題バランス能力低下と転倒及び認知機能との関連について. *理学療法科学* 2009; 24: 841-845
- 13) 冷水誠, 松尾篤, 森岡周, 他: 脳卒中患者における座位および立位姿勢の違いが語想起課題遂行能力に及ぼす影響. *理学療法科学* 2008; 35: 62-64
- 14) 塚原都代, 清水忍, 三浦創, 他: パーキンソン病患者に対する認知課題が静止立位の重心動揺に与える影響. *理学療法科学* 2008; 35 (suppl 2): 580 (会)
- 15) Blanchard Y, Carey S, Coffey J, et al: The influence of concurrent cognitive tasks on postural sway in children. *Pediatric Physical Therapy* 2005; 17: 189-193
- 16) Reilly DS, Donkelaar P, Saavedra S, et al: Interaction between the development of posture control and the executive function of attention. *Journal of Motor Behavior* 2008; 40: 90-102
- 17) Hodges J (著): *Cognitive assessment for clinicians*. 森悦郎 (監訳): 臨床家のための高次脳機能のみかた. 新興医学出版社, 東京, 2011; p247-248
- 18) Garzia RP, Richman JE, Nicholson SB, et al: A new visual-verbal saccade test: the developmental eye movement test (DEM). *Journal of American Optometric Association* 1990; 61: 124-135
- 19) 時田喬, 宮田英雄, 藤垣熙, 他: 直立時の身体動揺の分析 - 動揺の多現象記録と相関分析による - . *耳鼻臨床* 1970; 63: 363-387
- 20) 前川喜平, 副田敦裕, 山田奈生子: 利き手, 利き足と軸足の発達に関する研究. *小児診療* 1988; 51: 1841-1848
- 21) Neumann O: Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. In Prinz W. & Sanders A. F (Eds.), *Cognition and motor processes*. Berlin, Germany, 1984; Springer, p255-293

Study related to interaction between cognitive task performance and postural control in children

Shinya Fukami¹⁾, Kazuhiro Inoue²⁾, Yoshikazu Fukano¹⁾

- 1) Doctor of Science in Health Sciences, Graduate School of Health Sciences, Kagoshima University
- 2) Department of Clinical Occupational Therapy, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kagoshima University

Address correspondence to: Yoshikazu Fukano
8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890-8544, Japan
Tel/Fax: 099-275-6745
Email: fukano@health.nop.kagoshima-u.ac.jp

Abstract

In this study, we examined the influence which it has on the postural control by cognitive task addition. Twenty-six children (mean age of 68.76 ± 3.16 months) were respectively divided two groups: open stance group and closed stance group. And they were performed the basic condition of only a postural task and the dual task condition which added cognitive task. Cognitive tasks consisted of two kinds; memory task and visual task. And each had two degrees of difficulty. As a result, body sway decreased significantly by easy visual task addition and tended to decrease by other cognitive task additions when they stood with legs closed. While body sway didn't change by cognitive task when they stood with legs wide apart.

Two tasks that are competing for attentional resources are combined by the neuromotor system into one higher order skill that requires action planning. In the process, degrees of freedom in posture are constrained so that the attention required with postural control can be reduced, thereby freezing attentional resources to perform cognitive task. Therefore body sway decreased on closed stance group. However, body sway didn't change on open stance group because of small primarily.

Key words: dual task, postural control, cognitive task, body sway, children