

# バレーボール選手におけるワーキングメモリと空間認識の関係

高野淳司

The relation of working memory and spatial cognition in volleyball players

Atsushi Takano

## Abstract

This study investigated the differences of visuospatial working memory and spatial cognition between volleyball players and non-ball game players. It also investigated how the right dorsolateral prefrontal cortex (rDLPFC) work.

Visuospatial working memory and spatial cognition were examined by the N-back test (NBT) and mental rotation test (MRT). These tests were carried out to measure a percentage of correct answers and the reaction time. To clarify the relation of right dorsolateral prefrontal cortex (rDLPFC), each subject was given transcranial direct current stimulation (tDCS).

As for the percentage of correct answers at MRT and NBT, there was no difference between volleyball players and non-ball using players. However, volleyball players' reaction time of MRT and NBT are faster than those of non-ball game players.

It can be said that there is a possibility of making more use of rDLPFC for volleyball players than other players in spatial cognition and visuospatial working memory, for there is some effect of tDCS in reaction time of NBT and MRT

Key words : working memory, spatial cognition, prefrontal cortex

キーワード：ワーキングメモリ，空間認識，前頭前野

## 1. 緒 言

ボールゲーム等のスポーツにおいて、空間認識能力の優劣はパフォーマンス成否への重要なファクターである。また、空間認識能力は、情報の空間位置やその変化を認識する高度な脳機能であり、オープンスキルのスポーツ競技では特に重要な機能である。

Kasahara<sup>9)</sup>は、ラグビーの国内トップリーグレベルの選手に対して、ウェクスラー式成人知能検査 (Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised : WAIS-R) を実施したところ、空間認識能力に関する「積み木検査」の数値が、一般人に比べて有意に高い得点であったことを報告している。また、Kida<sup>11)</sup>は、野球競技者および野球非競技者に対し、定められた特定の空間にランプが点灯したら反応するが、特定の空間以外でランプが点灯した場合には反応しないという課題を実施したところ、野球競技者は野球非競技者に比べ反応時間が早かったことを報告している。これらのことから、日常的に空間認識能力を活用してプレーをしているボールゲームの選手は、一般人に比べ、その競技特有の空間認識に関わる諸能力が有意に優れていることが示唆される。

さて、ボールゲーム場面において、空間認識能力を發揮して相手の位置や方向を素早く認識し、プレーへと繋げて行く過程においては、状況に適したプレーを行う際に、一時的に相手の位置や方向を記憶している可能性がある。このように、空間や言語などの情報を一時的に保持しながら

別の行動をする際に活用される記憶の概念は、ワーキングメモリ<sup>1)</sup>と呼ばれる。Baddeley&Hitch<sup>2)</sup>は、ワーキングメモリを音韻的な成分 (phonological loop)、視空間的な成分 (visuospatial sketchpad)、意味的な成分 (episodic buffer) 及び制御的な成分 (central executive) といった構成要素からなるシステムとして考えている。Jaeggi<sup>6)</sup>は、視空間的な成分と音韻的な成分がともに含まれたワーキングメモリのトレーニングを実験参加者に8~19日かけて実施したところ、ワーキングメモリの能力が向上したことに加え、空間認識能力と関連する知能テストの成績も高まったことを報告している。このことは、空間認識能力とワーキングメモリは相互に依存している可能性があることを示唆しているが、現時点ではその因果関係は明らかになっていない。また、スポーツ場面や、ボールゲーム等での空間認識において特に関連が深いと考えられるのは、音韻的な成分よりも視空間的な成分であると考えられることから、視空間的な成分を主に利用したワーキングメモリ (視空間性ワーキングメモリ) が空間認識能力にどの程度依存しているのかを明らかにすることは、ボールゲームの選手、指導者に対する、空間認識能力向上のトレーニング開発等において有益なものとなりうる。

ここで視空間性ワーキングメモリに関わる脳機能に目を向けてみると、右前頭前野背外側領域 (right dorsolateral prefrontal cortex : rDLPFC 以下rDLPFC) の関与が大きいとする報告が多い<sup>10,12,16,17)</sup>。このことから視空間性ワーキングメモリと空間認識能力が相互に依存している可能性があるれば、空間認識能力もまたrDLPFCが大きく関与していると考えられるが、この点に関してもスポーツ全般およびボールゲーム経験で比較されたものはない。

rDLPFC等の脳の部位が視空間性ワーキングメモリに関与しているのかを証明する方法として、近年、課題に特に関係すると考えられる脳の部位を頭皮の表面から微弱な電気で刺激し、正答率や反応時間の変化から特定の課題に対する脳部位の関与を知ることが可能である経頭蓋直流電気刺激(Transcranial direct current stimulation: tDCS以下 tDCS)が使用されている。tDCSによる視空間性ワーキングメモリへの影響は、電極を配置する部位と使用する極性によって異なり、rDLPFCへ陽極のtDCSを行った時にワーキングメモリの正答率、反応速度が向上し、陰極のtDCSを行った時にワーキングメモリの正答率、反応速度が低下するという報告が多い<sup>3,4,8)</sup>が、tDCSの影響が視空間性ワーキングメモリだけでなく、空間認識に関する課題にも見られるのであれば空間認識能力とワーキングメモリは相互に依存しており、且つどちらもrDLPFCとの関係が深いということを意味する。

以上のことから、本研究では、バレーボール選手とボールゲーム非競技者の視空間性ワーキングメモリと空間認識能力を比較し、バレーボール経験による差異を明らかにすることを目的とした。さらにその際のrDLPFCの活動にも着目し、バレーボール経験によるrDLPFCの活動の差および視空間性ワーキングメモリの空間認識能力への関与について明らかにし、状況判断における蓄積的研究の一端を担うことを目的とした。

## II. 方 法

### 1. 被験者

競技経験年数5年以上で、現在まで継続的にバレーボールを行っている、高等学校県大会に出場経験があるレベルの健康な男性8名(平均年齢 $18.4 \pm 0.79$ 歳)、現在までボールゲーム経験がほとんどない健康な男性8名(平均年齢 $18.9 \pm 1.07$ 歳)を被験者として設定した。実験に先立ち、本研究の目的、意義、方法ならびに危険性を十分に説明した後、被験者から本実験に参加することの同意を得た。また、本実験は、東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の承認を得て行われた。

### 2. 実験方法

#### (1) 実験課題について

視空間性ワーキングメモリを評価する実験課題としては、代表的な課題であるN-backテストを使用した。また、空間認識能力を評価する実験課題としては、同じく代表的な課題として知られているメンタルローテーションテスト<sup>19,23)</sup>を使用した。

#### a) N-backテスト

N-backテストは連続して提示される刺激の「N」回前の場所と現在の刺激の場所を比べて、同じかどうかを回答するテストである。例えば、1-backの場合は、直前に出た刺激の位置と現在の位置が同じかどうかを回答するだけであるので非常に単純である。しかし、2-backになると2回前の刺

激の場所と現在の位置が同じかどうかを答えなければならない。つまり、「N」の数が増加するにしたがって難易度が増すという課題であり、ワーキングメモリを測定する多くの先行研究<sup>13,18,21)</sup>で実施されている課題である。

本課題は被験者正面に位置する19インチモニターと被験者の手元のキーへの反応によって遂行された。被験者前のモニター上に $3 \times 3$ のマスが現れ、その中の1つがランダムに青く塗りつぶされる(表示時間500msec)。その後、塗りつぶされた枠が一度消え、再び2500msec後にマスの中の1つが再びランダムに青く塗りつぶされる。その一連の流れが20回繰り返されるが、被験者は指示された数だけ前に記憶をさかのぼって、同じ場所が塗りつぶされていたと判断したらできるだけ早く手元のキーを押す。条件は「1back」「2back」「4back」の3つとし、それぞれ連続20回ずつ計60回を1セットとし、3セット行った。連続20回終了ごとに30秒の休憩、各セット終了ごとに1分間の休憩をそれぞれ設定した。マスが青く塗りつぶされてからキーを押す操作までの時間は、ミリ秒単位で測定、記録されるが、誤った反応は測定から除外した。なお、実験開始前には実施方法、および条件等の説明を口頭で行い、その後練習を行った。また、実験中は次のトライアルが何backのテストであるかを初めに指示した。

#### b) メンタルローテーションテスト

課題は被験者正面に位置する19インチモニターと被験者手元のキーへの反応によって遂行される。被験者前のモニターに左右2つの類似した図形が提示されるので、被験者へは左右両方の図が同じ図形(回転角度は左右で異なっている場合もある)であると判断した場合にはキーボードの「F」を、左右異なる図形であると判断した場合には「J」のキーをできるだけ早く押すことを課題として要求した。図形の提示は36回 $\times$ 2セット(計72回)行われた。図形提示からキーを押す操作までの時間はミリ秒単位で測定、記録されるが、誤った反応は測定から除外した。実験開始前には実施方法の説明を口頭で行い、その後練習を行った。なお、このメンタルローテーションの実験プログラムは「webを介してできる基礎・認知心理学実験演習」(ナカニシヤ出版)<sup>15)</sup>付属のプログラムを使用した。

#### (2) 経頭蓋直流電気刺激(tDCS)について

N-backテストとメンタルローテーションテストを1セットとして計2セット実施した。tDCSを与えるタイミングは、各セット開始前とし、tDCS終了後、その影響が残っている状態で各テストを実施するoff-line法<sup>20)</sup>を用いた。セット間のインターバルは最初のセットのtDCSを与えてから、効果が消失している約1時間半を確保した<sup>4)</sup>。条件はtDCS(電極表面積 $5\text{cm} \times 7\text{cm}$ )によるrDLPFCへの陰極刺激を1mAで10分間与える条件(active条件)、電流は流れないが、実際にtDCSを行う場合と同じ部位(rDLPFC)に電極を10分間設置する条件(sham条件)の2つを設定した。なお、active条件の際、被験者へは頭皮への電極接触以外の感覚(痛み等)は無いことを確認しているため、被験者は現

に行っている条件がactive, shamどちらの条件なのかは察知することができない設定となっている。1セット目と2セット目でactive条件,あるいはsham条件を入れ替えるが,どちらの条件を先に行うのかは,半数の割合になるよう,被験者ごとに異なるように設定した。陰極電極配置の際のrDLPFCの部位特定は,脳波計測における部位特定の標準規格である国際式10-20法を用いて特定した。また陰極電極と対になっている陽極電極は,その陽極刺激の影響が反映されない左眼窩上に配置した<sup>5,14</sup>。なお,本実験の一連の流れは図1に示した。

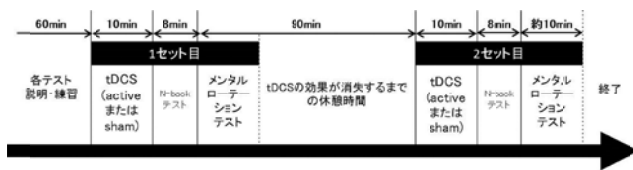


図1 本実験の流れ

### 3. 統計処理

N-backテスト,メンタルローテーションテストで得られた正答率と反応時間は,平均値として表した。バレーボール経験(バレーボール選手,ボールゲーム非競技者),tDCSの影響(sham,active)での2×2の2要因分散分析を行った。交互作用または主効果が有意である場合には下位検定を行った。有意水準は,すべて危険率5%未満( $p < 0.05$ )とした。なお,統計処理ソフトはSPSSW Advanced Statistics 18.0 for Windowsを使用した。

## III. 結 果

### 1. N-backテスト

#### (1) 正答率について(図2)

N-backテストにおける正答率の平均はバレーボール選手/sham条件で79.50%,バレーボール選手/active条件で78.25%,ボールゲーム非競技者/sham条件で76.38%,ボールゲーム非競技者/active条件で76.00%であった。分散分析の結果,交互作用( $F(1, 14) = 0.39$ , not significant: 非有意,以下n.s.),主効果( $F(1, 14) = 0.54$ ,n.s.)いずれも有意ではなかった。以上のことから,N-backテストの正答率に関してはバレーボール経験による差異およびtDCSの影響を見ることができなかった。

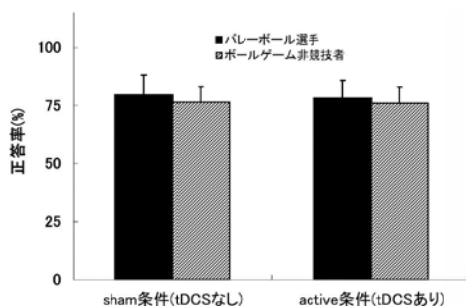


図2 N-backテストにおける正答率の比較(すべて有意差は無し)

#### (2) 反応時間について(図3)

N-backテストにおける反応時間の平均は,バレーボール選手/sham条件で887msec,バレーボール選手/active条件で1138msec,ボールゲーム非競技者/sham条件で1221msec,ボールゲーム非競技者/active条件で1253msecであった。分散分析の結果,バレーボール経験とtDCSの影響に交互作用が見られた( $F(1, 14) = 5.41$ , $p < 0.05$ )ため,下位検定を行った結果,sham条件の時にバレーボール選手とボールゲーム非競技者に有意な差が見られ( $F(1, 14) = 10.44$ , $p < 0.01$ ),またバレーボール選手でのみtDCSの影響の効果が見られた( $F(1, 14) = 14.26$ , $p < 0.01$ )。

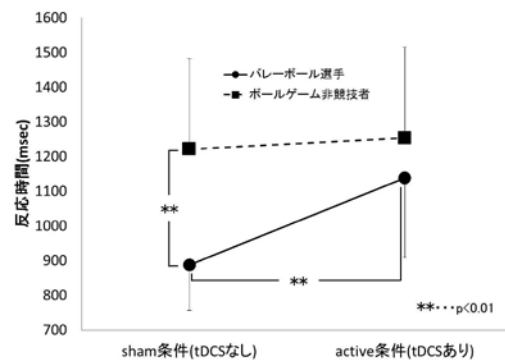


図3 N-backテストにおける反応時間の比較

### 2. メンタルローテーションテスト

#### (1) 正答率について(図4)

メンタルローテーションテストにおける正答率の平均は,バレーボール選手/sham条件で93.75%,バレーボール選手/active条件で93.13%,ボールゲーム非競技者/sham条件で93.50%,ボールゲーム非競技者/active条件で92.63%であった。分散分析の結果,交互作用( $F(1, 14) = 0.10$ ,n.s.),主効果( $F(1, 14) = 0.08$ ,n.s.)いずれも有意ではなかった。以上のことから,メンタルローテーションテストの正答率に関してはバレーボール経験による差異およびtDCSの影響を見るができなかった。

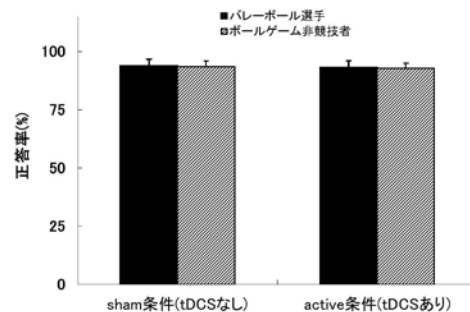


図4 メンタルローテーションテストにおける正答率の比較(すべて有意差は無し)

## (2) 反応時間について(図5)

メンタルローテーションテストにおける反応時間の平均は、バレーボール選手/sham条件で3183msec、バレーボール選手/active条件で5243msec、ボールゲーム非競技者/sham条件で4699msec、ボールゲーム非競技者/active条件で5159msecであった。分散分析の結果、バレーボール経験とtDCSの影響に交互作用が見られた( $F(1, 14) = 6.35, p < 0.05$ ) ため、下位検定を行った結果、sham条件の時にバレーボール選手とボールゲーム非競技者に有意な差が見られ( $F(1, 14) = 6.73, p < 0.05$ )、またバレーボール選手でのみtDCSの影響の効果が見られた( $F(1, 14) = 21.05, p < 0.01$ )。

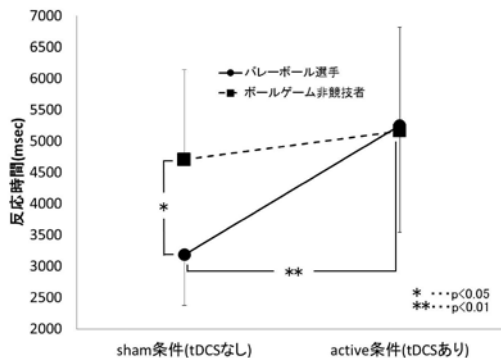


図5 メンタルローテーションテストにおける反応時間の比較

#### IV. 考 察

N-backテストとメンタルローテーションテストの反応時間においては、sham条件でバレーボール選手とボールゲーム非競技者に差が生じた。このことは、バレーボール選手がボールゲーム非競技者よりも普段から習慣的に瞬時にワーキングメモリを使用および空間認知を行うことを要求されているために生じた結果であると考えられる。

一方、バレーボール選手とボールゲーム非競技者間における正答率の差は見られなかった。しかし、前出のKasaharaら<sup>9)</sup>はラグビーのトップリーグ選手(男性27名)の空間認識能力と関連が深い「積み木検査」の数値が、一般人の平均に比べて有意に高い得点であったことを報告しており、また、Vestbergら<sup>22)</sup>は、プロサッカー選手(男性14名、女性15名)と一般人(男性31名、女性26名)を対象にワーキングメモリのテストを含む認知テストを行ったところ、プロサッカー選手の方が一般人よりも高い成績を示すことを示している。今回の実験においてN-backテストとメンタルローテーションテストの正答率に差が生じなかった要因の一つとして、今回のバレーボール経験者の競技レベルが「競技経験年数5年以上で、現在まで継続的にバレーボールを行っている、高等学校県大会に出場経験がある」という、トップレベルとは異なる選手であったことが理由として考えられる。今後、よりレベルの高いバレーボール

選手を被験者に設定し、実験を試みることも必要である。さらに、今回の実験では、反応時間を長くすることで、正しい回答を導いていた可能性もあり、この点もバレーボール選手とボールゲーム非競技者の正答率に差異を生じさせなかった要因であることが考えられる。今回は憶測による回答を避けるために制限時間を設定しなかったが、今後の課題として、回答に対する制限時間を設定することも必要であろう。

また、バレーボール選手はtDCSによって活動を抑制されたrDLPFCの影響から、N-backテストとメンタルローテーション課題の反応時間がともに大きく遅延していることがわかった。このことは視空間性ワーキングメモリと空間認識能力は互いに依存関係にある可能性を示唆するものである。ワーキングメモリに関しては、その能力を高めるトレーニング方法が多く開発、考案されているが、空間認識能力に関しては、先天的な要素が大きい能力の一つとして捉えられることが多く、後天的に一般的な空間認識能力を向上させることは、困難なものと考えられてきた。しかし、今回の結果から視空間性ワーキングメモリを向上させることが空間認識能力を相対的に高める可能性があることがわかったことから、今後、バレーボールの空間認識能力向上を目的とした新たなトレーニング方法が開発されることも期待できる。ただし、Jaeggiら<sup>6)</sup>の実験において使用したワーキングメモリ課題は、音韻的な成分も含んでいる(言語性ワーキングメモリ)ことから、空間認識能力の向上に言語性ワーキングメモリの影響がどの程度あるのかについても今後検討の余地がある。

ボールゲーム非競技者においてtDCSの影響が生じなかった理由としては、rDLPFC以外の脳部位が多く動員された可能性が考えられる。例えば、一つの場所から注意を外し、他の場所に注意を移す際には、後頭頂皮質等、他の脳部位も多く活動する<sup>7)</sup>ことが知られていることから、バレーボール選手とボールゲーム非競技者では今回の実験課題の注意点が異なっていた可能性が考えられる。しかしながら、今回の実験からは明確に立証されるに至ってはいないため、今後さらなる検討が必要である。さらには、被験者数を増員する、あるいは他の競技との比較やバレーボールにおけるポジションの違いについて比較、検討することにより、バレーボール選手の視空間性ワーキングメモリと空間認識能力、および状況判断全般の特色を見出すことができることができるものと思われる。

#### V. ま と め

本研究ではバレーボール選手と、ボールゲーム非競技者の、視空間性ワーキングメモリと空間認識能力の差および右前頭前野背外側領域の役割について比較検討し、以下の結果を得た。

- ①N-backテストとメンタルローテーションテストの反応時間はどちらもバレーボール選手の方がボールゲーム非競技者よりも早かった。
- ②バレーボール選手においてtDCSの影響がN-backテストとメンタルローテーションテストの反応時間の遅延に現れたことから、バレーボール選手はボールゲーム非競技者に比べて視空間性ワーキングメモリ及び空間認識の際に、より右前頭前野背外側領域を活用している可能性がある。
- ③視空間性ワーキングメモリと空間認識能力は互いに依存関係にあることが示唆される。

2011年度日本バレーボール学会調査研究助成金による研究

## VI. 参 考 文 献

- 1)Baddeley, A. : The episodic buffer : a new component of working memory ? Trends Cogn Sci. 4 : pp.417 - 423, 2000.
- 2)Baddeley, A. & Hitch, G. : "Working memory" in Bower. G.H. : Recent advances in learning and motivation, New York, Academic Press : 1974, pp.47 - 49.
- 3)Boggio, P. S., et al. : Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. J Neurol Sci. 249 : pp.31 - 38, 2006.
- 4)Fregni, F., et al. : Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. Exp Brain Res. 166 : pp.23 - 30, 2005.
- 5)Furubayashi, T., et al. : Short and long duration transcranial direct current stimulation (tDCS) over the human hand motor area. Exp Brain Res. 185 : pp.279 - 286, 2008.
- 6)Jaeggi, S. M., et al. : Improving fluid intelligence with training on working memory. Proc Natl Acad Sci U S A. 105 : pp.6829 - 6833, 2008.
- 7)Jancke, L., et al. : The architecture of the golfer's brain. PLoS One. 4 : p.e4785, 2009.
- 8)Jo, J. M., et al. : Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. Am J Phys Med Rehabil. 88 : pp.404 - 409, 2009.
- 9)Kasahara, S., et al. : Superior performance in WAIS-R block design among top-level rugby players. Br J Sports Med. 42 : pp.632 - 633, 2008.
- 10)Kessels, R. P., et al. : Spatial working memory performance after high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the left and right posterior parietal cortex in humans. Neurosci Lett. 287 : pp.68 - 70, 2000.
- 11)Kida, N., et al. : Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. Brain Res Cogn Brain Res. 22 : pp.257 - 264, 2005.
- 12)Koch, G., et al. : rTMS evidence of different delay and decision processes in a fronto-parietal neuronal network activated during spatial working memory. Neuroimage. 24 : pp.34 - 39, 2005.
- 13)Koshino, H., et al. : Functional connectivity in an fMRI working memory task in high-functioning autism. Neuroimage. 24 : pp.810 - 821, 2005.
- 14)Loo, C. K., et al. : A double-blind, sham-controlled trial of transcranial direct current stimulation for the treatment of depression. Int J Neuropsychopharmacol. 13 : pp.61 - 69, 2010.
- 15)水野りか : 『Webを介してできる基礎・認知心理学実験演習』, in京都, ナカニシヤ出版 : 2004, pp. 63 - 68.
- 16)Muri, R. M., et al. : Effects of single-pulse transcranial magnetic stimulation over the prefrontal and posterior parietal cortices during memory-guided saccades in humans. J Neurophysiol. 76 : pp.2102 - 2106, 1996.
- 17)Oliveri, M., et al. : Parieto-frontal interactions in visual-object and visual-spatial working memory : evidence from transcranial magnetic stimulation. Cereb Cortex. 11 : pp.606 - 618, 2001.
- 18)Owen, A. M., et al. : N-back working memory paradigm : a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. Hum Brain Mapp. 25 : pp.46 - 59, 2005.
- 19)Pellizzer, G. : Mental transformations in the motor cortex. Brain Res Cogn Brain Res. 5 : pp.123 - 130, 1996.
- 20)Robertson, E. M., et al. : Studies in cognition : the problems solved and created by transcranial magnetic stimulation. J Cogn Neurosci. 15 : pp.948 - 960, 2003.
- 21)Tanaka, S., et al. : Modality-specific cognitive function of medial and lateral human Brodmann area 6. J Neurosci. 25 : pp.496 - 501, 2005.
- 22)Vestberg, T., et al. : Executive Functions Predict the Success of Top-Soccer Players. PLoS One. 7 (4) : p.e34731, 2012.
- 23)Zacks, J. M. : Neuroimaging studies of mental rotation : a meta-analysis and review. J Cogn Neurosci. 20 : pp.1 - 19, 2008.