

## 頭部外傷一年後の平衡機能検査成績の検討

### 意識消失期間と脳挫傷範囲の程度

正木 道熹, 和田 健一

労働者健康福祉機構中部労災病院耳鼻咽喉科

(平成 24 年 4 月 5 日受付)

**要旨：**目的：頭部外傷による各種平衡機能検査の有用性をみた。対象：頭部外傷によりめまい・平衡障害を伴った 42 症例 (25 歳から 69 歳, 男性 37 例 女性 5 例) であった。検査時, 歩行ができた。意識消失期間の程度 (GOUP) を 1: なし, 2: 24 時間>, 3: 1~7 日, 4: 7 日< の 4 つ, 脳挫傷範囲の程度 (GOBCA) を 1: なし, 2: 一カ所, 3: 二カ所, 4: 三カ所以上の 4 つに分けた。検査異常例比率と GOBCA で相関係数 (CC) を求めた。頭部に加わる外力の方向で頭部外傷の後遺症の出現に違いがでるかを GOUP 下で側頭部受傷 18 例と前後頭部受傷 17 例で行った。成績: GOBCA と検査異常成績比率との相関分析結果は次のごとくである。温度検査異常例比率 (RC-CP), 平滑性眼運動検査異常例比率 (RAC-SPE) の相関係数 (CC) は RC-CP -0.02 RAC-SPE 0.17 であった。衝動性眼運動検査異常例比率 (RAC-SE) の CC は -0.64 であった。視運動性眼振検査異常例比率 (RAC-OKN), 身体重心動揺計検査異常例比率 (開眼, 閉眼) (RCA-PGTEO, RAC-PGTEC) の CC はそれぞれ 0.86, 0.77 0.81 であった。側頭部受傷 18 例と前後頭部受傷 17 例との検査異常成績の相関分析を行った。その結果は次のごとくである。RC-CP での CC は -0.95, RCA-SPE での CC は -0.83, RAC-SE での CC は -0.77 であった。RAC-OKN での CC は 0.92 であった。RAC-PGTEO での CC は -0.05 であった。RAC-PGTEC の CC は 0.64 であった。結論: 迷路障害は GOBCA との相関ない。頭部の左右方向より前後方向の直達力にて迷路障害がでた。GOUP において外力の前後と左右方向の頭部受傷方向で RC-CP, RAC-SPE, RAC-SE にて成績の差がでた。GOBCA にて, RAC-SPE と RAC-SE に差があった。これは平滑性眼運動系よりも衝動性眼運動系の複雑神経回路が大きいためと考えた。RAC-OKN と RAC-PGTEC は GOUP と GOBCA が強いほど高く出た。すなわち, OKN, PGTEC は頭部外傷の全体の評価に有用である。

(日職災医誌, 61: 33—49, 2013)

#### —キーワード—

頭部外傷後遺症 温度検査, 視標追跡検査 (SPE, SE) OKN 重心動揺検査 (PGT), 脳挫傷範囲の程度 意識消失期間の程度, 頭部受傷方向

## I 緒 言

近年頭部外傷後遺症の認定症例は交通事故例は 3 点シートベルト導入以来減少し, さらにエアバックが自動車に装着されて, 激減している。しかしながら, 転落, 転倒事故, 落下物による事故は依然ある (図 1)。最近では通勤に自転車を使用する人が増加している。認定症例とし, まだわずかであるが, 今後増加する可能性がある。顔面外傷の増加が予測される。診断として画像が多く用いられているが, 近年, fMRI をもちいた脳機能の評価が行われるようになってきている。その前段階として, 頭部外傷による意識消失期間の程度と脳挫傷範囲の程度が平衡

機能検査の成績にどのように影響するかを検討した。

## II 対象症例

2000 年 4 月より 2006 年 7 月までに認定意見のために当院耳鼻咽喉科に自力歩行が主であった。頭部外傷後遺症としては軽症の部類に入る。主なる受傷部位が明らかな症例 70 例を経験した (図 2)。そしてめまい・平衡障害を伴う 42 症例 (25 歳から 69 歳 男性 37 名 女性 5 名) を検討した。

## III 検討事項

A: 意識消失期間の程度 GOUP を 1grade: なし 2

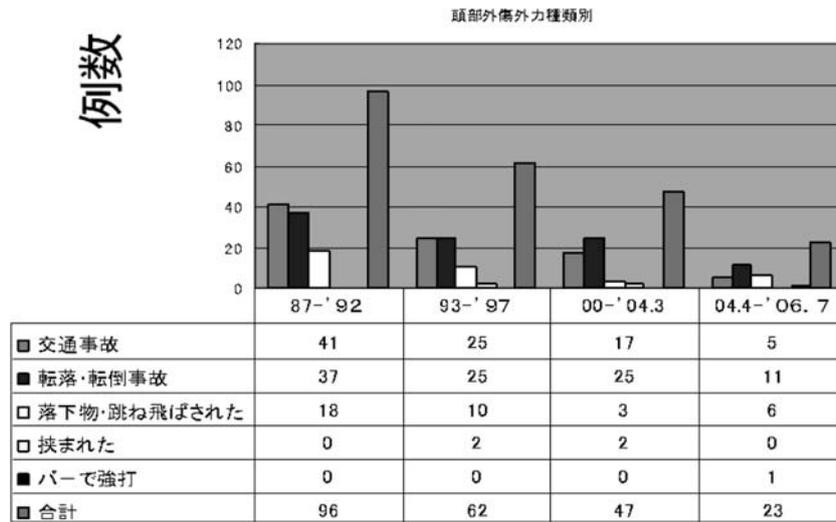


図1 中部労災病院耳鼻咽喉科 頭部外傷後遺症認定症例の推移



■ 交通事故	23例(33%)
■ 転落・転倒事故	36例(51%)
□ 落下物・跳ね飛ばされた	9例(13%)
□ 挟まれた	2例(3%)
■ バーにて強打	1例(1%)

図2 2000.4～2006.7 頭部外傷症例の外力の種類

grade：24時間以内 3grade：1～7日 4grade：7日以上に分けた。

B：脳挫傷範囲の程度GOBCAを 1grade：なし 2grade：1カ所 3grade：2カ所 4grade：3カ所以上に分けた。

ア：意識消失期間の程度と側頭骨骨折・脳挫傷を伴うめまい例の比率に相関係数を用いた。

イ：脳挫傷範囲の程度と平衡機能検査異常成績の比率に相関係数を用いた

ウ：意識消失期間の程度において、側頭部受傷例（左右方向）と前後頭部受傷例（前後方向）の平衡機能検査異常成績の比率で相関係数を求めた。

なお、平衡機能検査装置として、重心動揺計装置は三菱測器製、眼振分析装置、視刺激装置は米国ニコレー社製で windows version のものを使用した。それぞれの機器での年齢別の正常範囲を用いた。

頭部外傷後遺症例の検査の原則は、職種、職歴を聞き、受傷状況を把握した。脳神経検査、小脳徴候を調べた上

で、耳鼻咽喉鏡検査、簡易聴力検査、簡易平衡機能検査を行った。難聴・めまいの素因検査として、起立負荷検査、血液検査（高脂血症、血小板凝集能検査、血液一般）を行った。必要に応じて簡易睡眠モニター検査も行った。難聴・耳鳴があれば、精密聴力検査（純音・語音・ABR・SR・自記オーディオメーター検査）を行った。めまい平衡障害があれば、精密平衡機能検査を行った。

#### IV 頭部外傷後遺症代表症例

症例 37歳 男性

1) 主訴：左難聴

既往歴：特記すべきものなし。

現病歴：仕事中高さ2.6mより転落した。ヘルメット装着していたが前頭部を打ち、意識消失きたし、事故当日に近くの脳神経外科にて開頭手術をうけた。事故後27日ごろ、自分が自分であることを自覚できるようになった。

左耳全く聴こえない、ふらつきに気付いた。

2) 耳鼻咽喉所見：左鼓膜内陥・外耳道上壁充血 鼻中隔彎曲（右）口蓋扁桃肥大2度

3) 標準純音聴力検査：右耳：c5-dip型感音難聴 内耳補充現象陽性 左耳：全聾 両耳とも耳鳴なし（図3）。

4) 聴性脳幹反応検査（ABR）：click音刺激；反応閾値右刺激時 50dB SPL 左刺激時 反応なし（図4）。

5) 重心動揺計検査 PGT（図5、6）：開閉眼ともにび慢性動揺で異常

6) 温度検査：エア温度検査で冷風24℃ 6L/分 温風 50℃ 6L/分で刺激（図7）

温度眼振の緩徐相速度をグラフにした。CP・DPを求め、温度眼振が強いときに Visual Suppression 検査も行った。左迷路反応低下であった。

7) 視標追跡検査（平滑性眼運動検査；SPE）（図8）

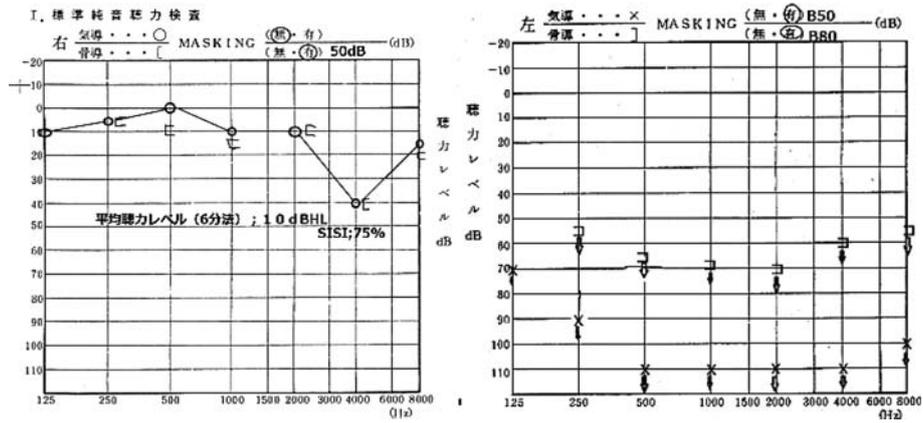


図3 標準純音聴力検査 オーディオグラム

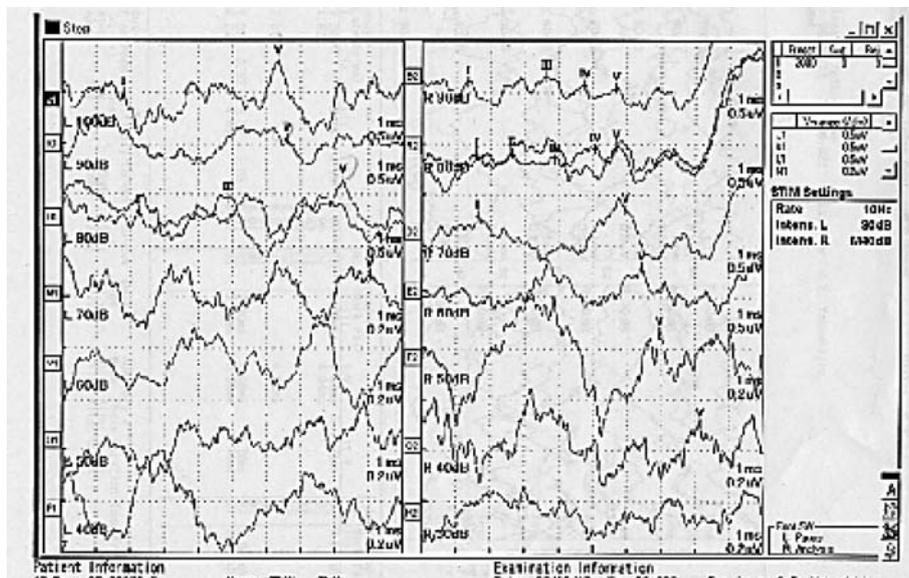


図4 聴性脳幹反応検査 (ABR)

視刺激は sin 波で 0.15Hz と 0.2Hz で眼運動は眼速度で記録した。視刺激速度と追跡眼球速度(眼球緩徐速度)の傾き, 対称率, 位相の遅れを見た。結果は視刺激速度と追跡眼球速度(眼球緩徐速度)の傾きが低く, 視標追跡に遅れがある。対称率も大きく右から左にさらに不良であった。位相のずれも大きく同年代人より視標の追視が不良であった。

8) 視標追跡検査 (衝動性眼運動検査; SE)

視刺激はランダム刺激で視標を追視する。視刺激を入力し, 眼運動を出力として記録した (図 9)。

評価は視標を正確に追視する正確度, 視標の動きに眼球が動くまでの時間 delay time をみる。最高眼球速度 peak velocity を見る。

この症例では右方向正確度低下 delay 時間が短い, 予測性 saccade が生じている。

9) 視運動性眼振検査: OKN 視刺激は 20°/秒, 32°/秒, 40°/秒の固定回転刺激で右回転, 左回転を行った。加速度

刺激ではない。視性眼振の緩徐相と視標速度をみて視標を追視して捉えているかを見た。(図 10)

10) 側頭骨 CT (軸位); 蝸牛管骨折 (図 11)

11) 頭部 MRI; 右側頭葉脳挫傷 (図 12)

12) MRI; 右側頭葉挫傷一部左小脳挫傷 (図 13)

13) MRI; 両側前頭葉挫傷 (図 14)

この症例における意識消失の期間の程度 grade4 で, 脳挫傷の程度 grade4 であった。左蝸牛管骨折を伴っていた。

V 成 績

1) 意識消失期間の程度と側頭骨骨折・脳挫傷を伴うめまい症を検討した。

図 15 に意識消失期間の程度と側頭骨骨折例数, 脳挫傷例数を表した。

○印; 迷路骨折 5 例, ★印; 正・卵円窓 3 例, ■印; 内耳道骨折を表した。

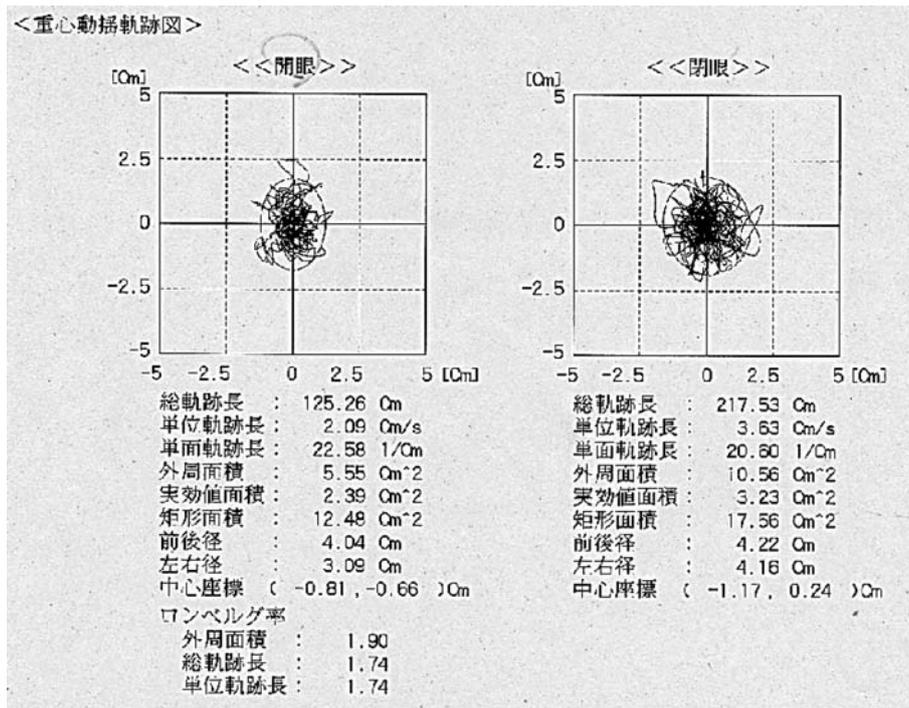


図5 重心動揺計 (PGT) XY 記録；両脚起立開眼1分間閉眼1分間

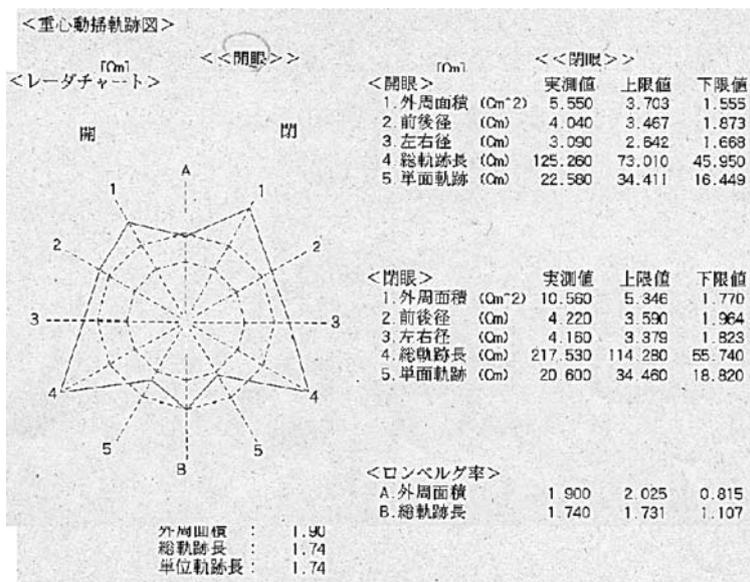


図6 重心動揺記録分析；レーダチャート

図16に意識消失の期間の程度の総数に脳挫傷、側頭骨骨折の占める比率を求めた。意識消失の程度と脳挫傷例の比率、側頭骨骨折例の比率より相関係数を求めた。

その結果は図16で表した。相関係数は脳挫傷：0.99 側頭骨骨折：0.94で高い相関がある。脳挫傷例のほうが高い。

2) 脳挫傷範囲 GOBCA の程度と平衡機能検査異常成績例の比率の検討。

図17に脳挫傷範囲の程度の総数と温度検査異常(迷路反応低下)の例数、側頭骨骨折例数を表と図に表した。

脳挫傷範囲の程度と温度検査では脳挫傷なしと1カ所脳挫傷に63%、75%に迷路低下を伴った。

図18に脳挫傷範囲の程度の総数と視標検査異常の例数、側頭骨骨折例数を表した。視標追跡検査(平滑性眼運動検査)で脳挫傷なしから3カ所脳挫傷で56%、50%、100%、50%の異常所見であった。視標追跡検査(衝動性眼運動)で脳挫傷なしから2カ所脳挫傷で48%から67%の異常所見であった。

図19に脳挫傷範囲の程度の総数と視運動性眼振検査(OKN)異常の例数、側頭骨骨折例数を表した。

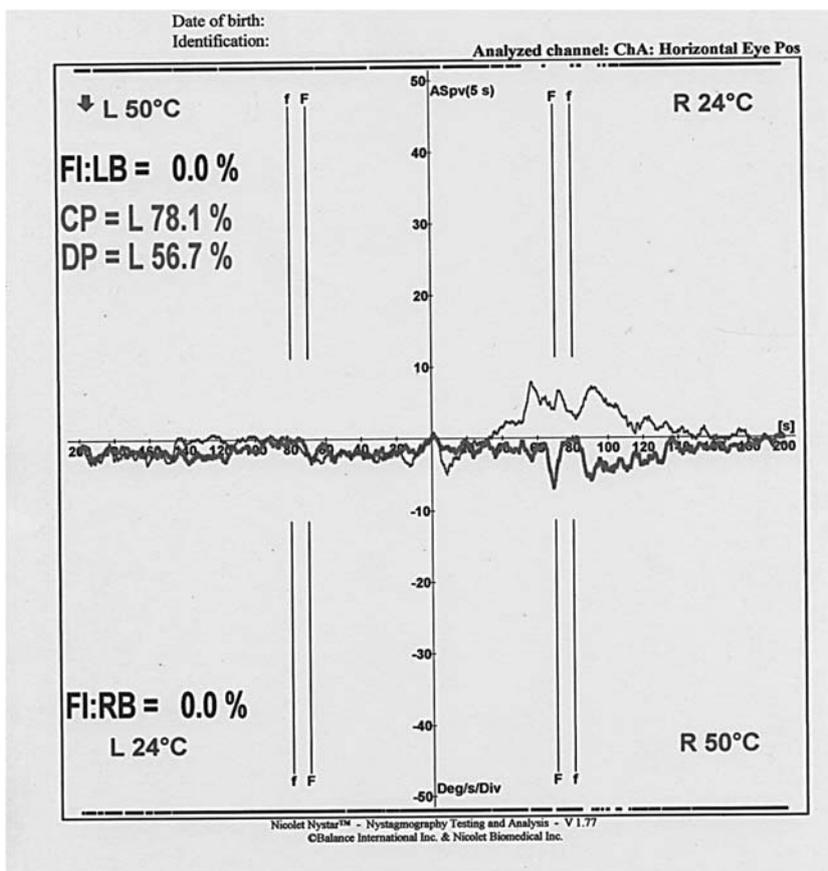


図7 温度検査 (エラー)

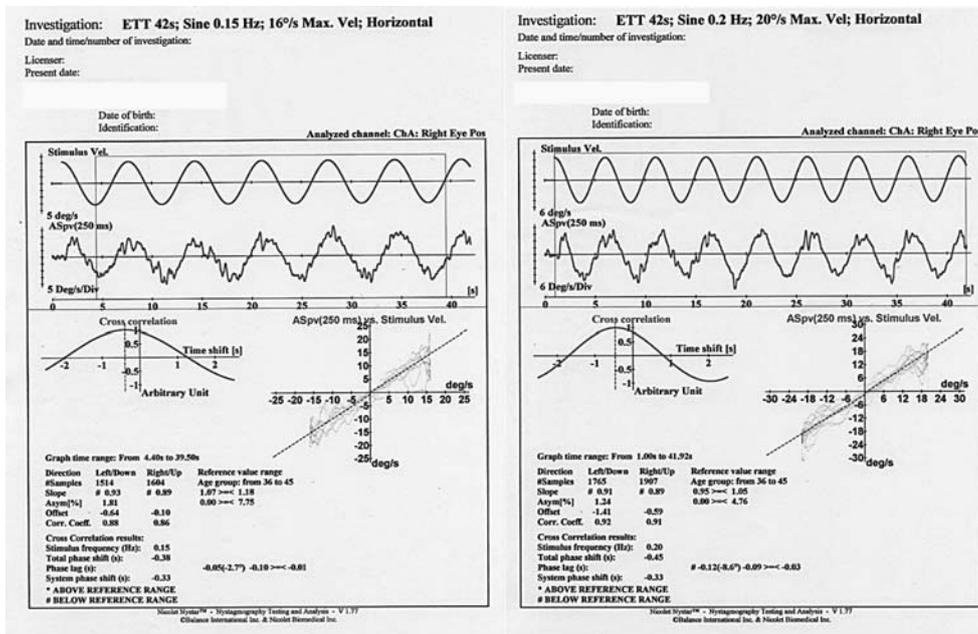


図8 視標追跡検査：平滑性眼運動 (SPE) (0.15Hz 視刺激・0.2Hz 刺激)

OKN 異常は脳挫傷範囲の程度高くなるほど50% から100% になった。

図20に脳挫傷範囲の程度の総数と重心動揺計検査(開

眼・閉眼) 異常の例数, 側頭骨骨折例数を表した. 重心動揺計検査では脳挫傷が1カ所から3カ所に程度が増すと開眼で25% から100% 閉眼で63% から100% に異常

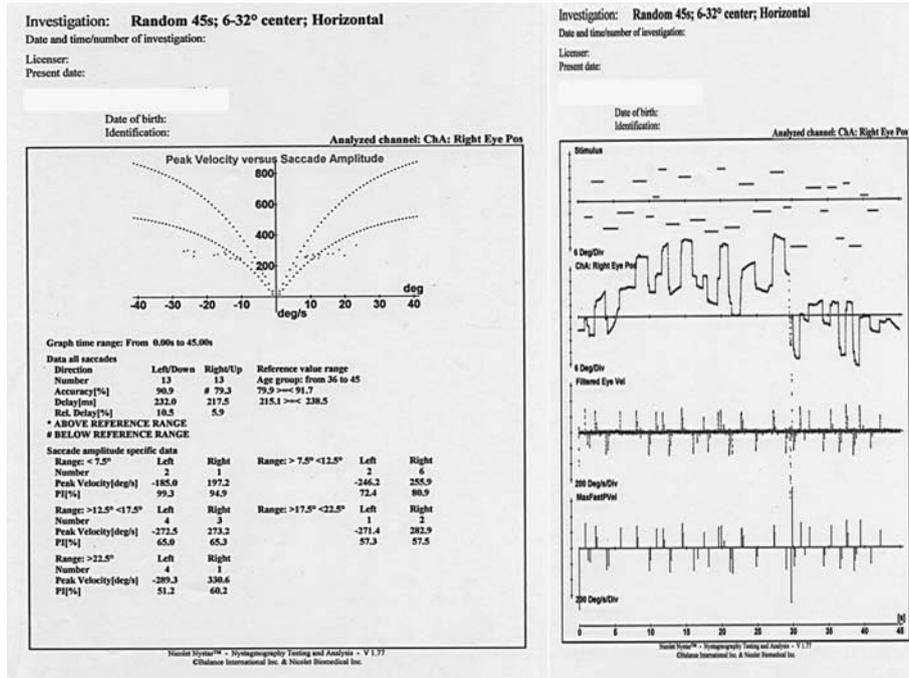


図9 視標追跡検査：衝動性眼運動検査（SE）（ランダム視刺激）

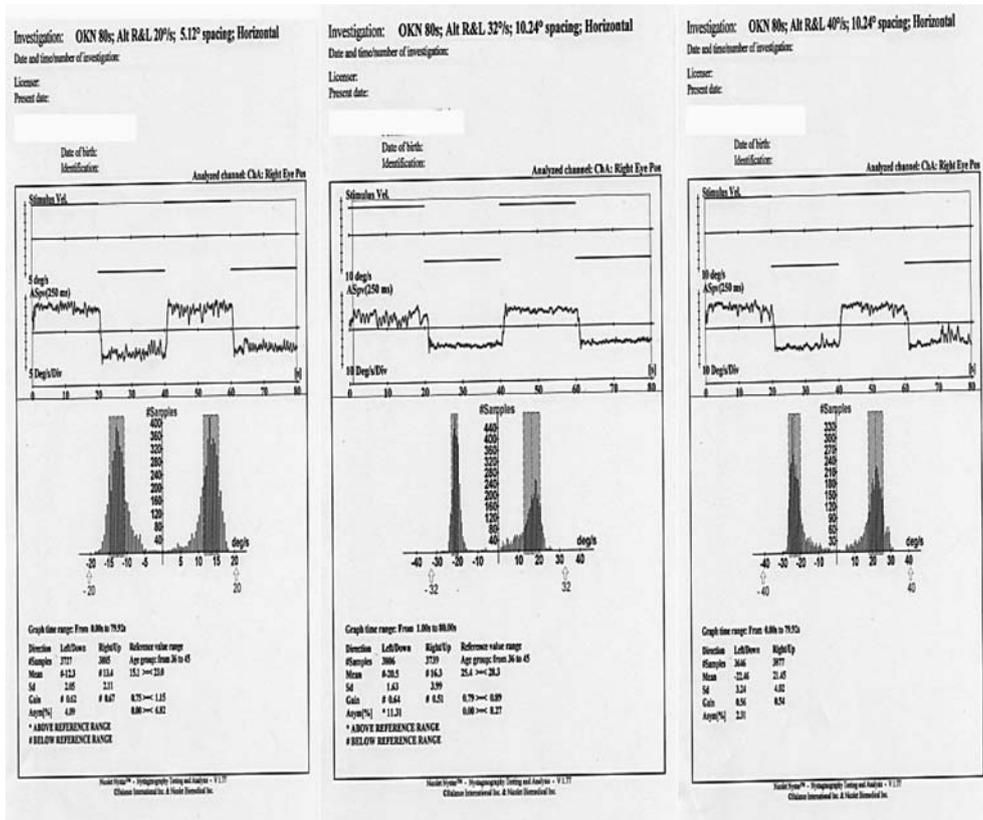


図10 視運動性眼振検査（OKN）；固定周波数視刺激（20°/秒，32°/秒，40°/秒）

となった。

図21に脳挫傷範囲の程度と平衡機能検査異常例の比率の図と脳挫傷範囲の程度と各検査異常例の比率の相関係数を表示した。

脳挫傷範囲の程度と温度検査（CP）成績の異常例の比率の相関係数は-0.02で、ほとんど相関ない。脳挫傷範囲の程度と視標追跡検査（平滑性眼運動検査；SPE）成績の異常例の比率の相関係数は0.17で、ほとんど相関がな



図 11 側頭骨 CT 軸位；左側 蝸牛管骨折

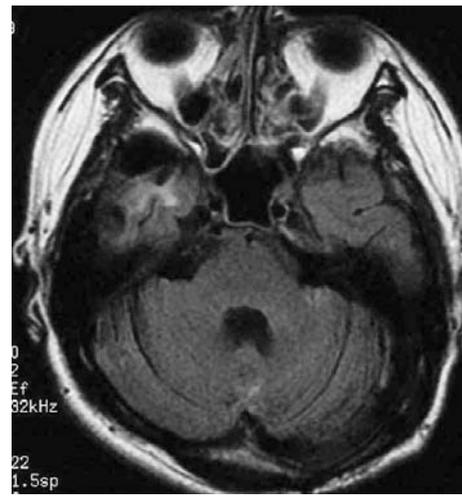


図 13 MRI；右側頭葉挫傷一部左小脳挫傷



図 12 頭部 MRI (T<sub>2</sub> 強調) 右側頭葉下部 脳挫傷



図 14 MRI；両側前頭葉挫傷

い。脳挫傷範囲の程度と視標追跡検査（衝動性眼運動検査；SE）成績の異常例の比率の相関係数は $-0.64$ で、かなり高い逆相関があった。脳挫傷範囲の程度と視運動性眼振検査（OKN）成績の異常例の比率の相関係数は $0.86$ で、高い相関があった。脳挫傷範囲の程度と重心動揺計検査（開眼）PGTEO 成績の異常例の比率の相関係数は $0.77$ で、高い相関があった。脳挫傷範囲の程度と重心動揺計検査（閉眼）PGTEC 成績の異常例の比率の相関係数は $0.82$ で、高い相関があった。

a) 小括

脳挫傷範囲の程度と温度検査（CP）成績の異常例、視標追跡検査（平滑性眼運動検査；SPE）成績の異常例では相関係数として温度検査 $-0.02$  SPE  $0.17$ で、ほとんど相関がない。

視標追跡検査（衝動性眼運動検査；SE）相関係数 SE  $-0.64$ で、かなり高い逆相関があった。OKN、重心動揺

計検査開眼 PGTEO、閉眼 PGTEC において相関係数それぞれ $0.86$ 、 $0.77$ 、 $0.82$ と高い相関がある。広範囲の神経回路がある検査で脳挫傷範囲の程度が関与すると考える。

3) 側頭部受傷例（左右方向）と前後頭部受傷例（前後方向）の平衡機能検査異常成績例の比率を意識消失期間の程度に基づいて検討した。

頭部前後方向に外力が加わる（顔面・前頭部、後頭部受傷）と頭部左右方向に外力が加わる（側頭部受傷）の平衡機能検査異常成績を図 22 に表した。その成績は前後方向に外力が加わるほうが内耳障害と視性眼運動系異常、重心動揺計検査開眼 PGTEO 異常の割合が高い。なお側頭骨骨折を伴う例は側頭部受傷で $67\%$ 、顔面前頭部・後頭部受傷で $29\%$ であった。

図 23 に温度検査の異常（CP）成績において、側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との

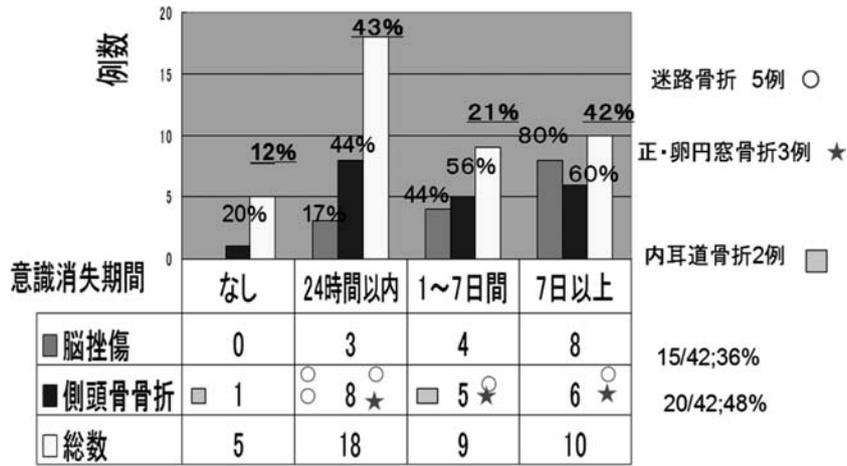


図 15 意識消失期間と脳挫傷並びに側頭骨骨折

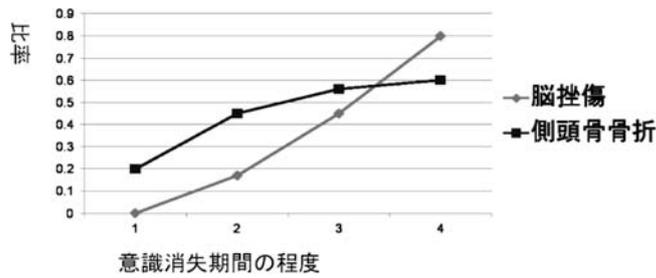


図 16 意識消失期間の程度と脳挫傷例比率と側頭骨骨折比率の相関

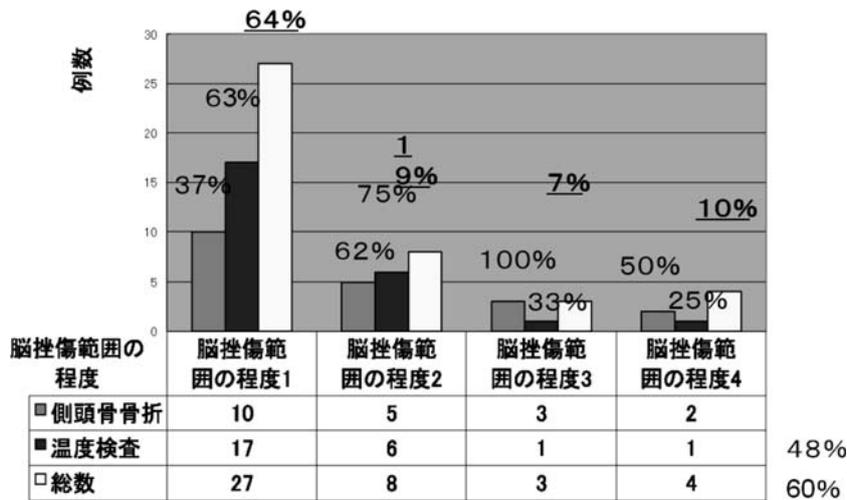


図 17 脳挫傷範囲の程度と温度検査異常例数

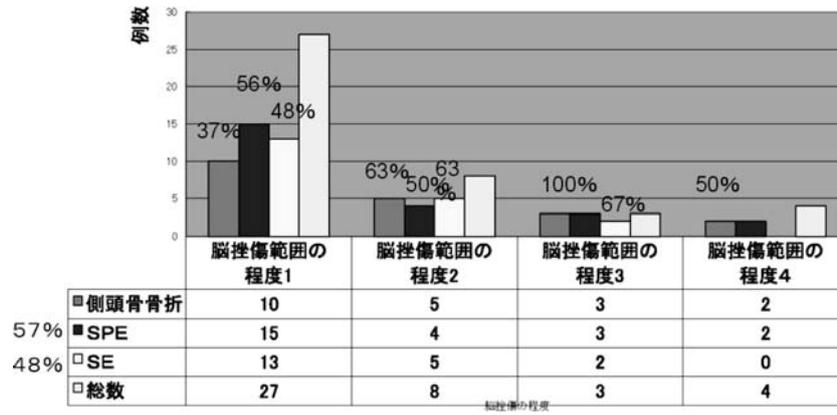


図 18 脳挫傷範囲の程度と視標追跡検査異常例数

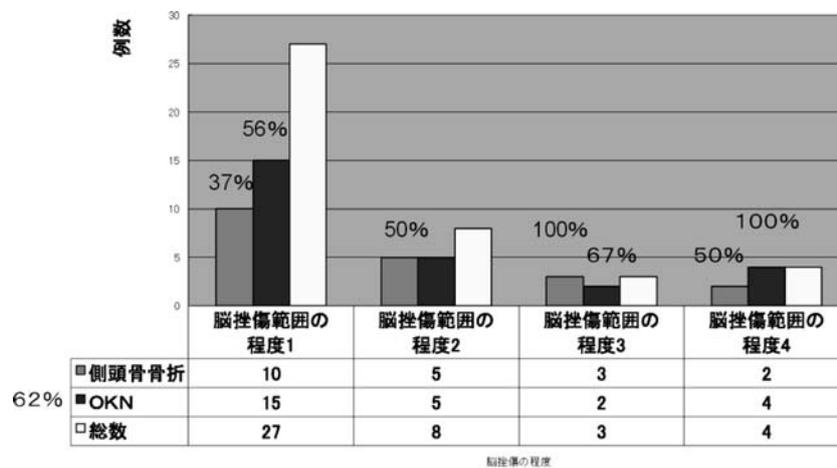


図 19 脳挫傷範囲の程度と視運動性眼振検査 (OKN) 異常例数

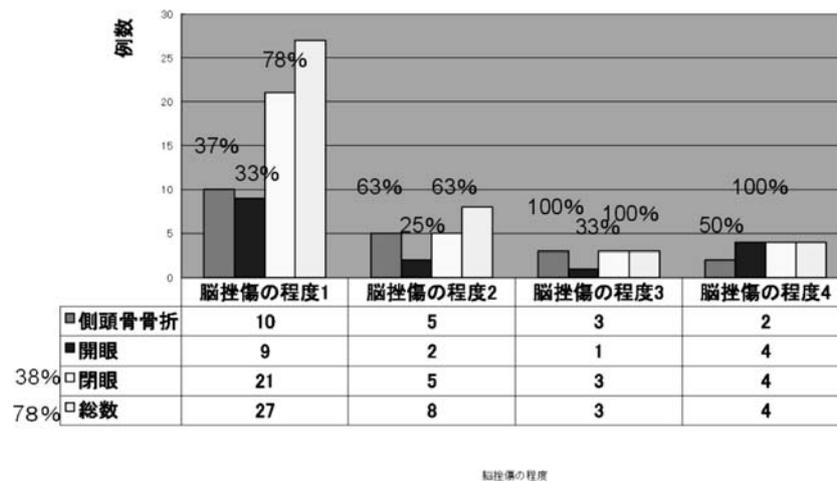


図 20 脳挫傷範囲の程度と重心動揺計 (立直) 検査 (PGT) 異常例

相関をみた。相関係数-0.95 で高い逆相関があった。

図 24 に平滑性眼運動検査 (SPE) の異常成績において、側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の

比率との相関をみた。相関係数-0.83 で、高い逆相関があった。

図 25 に衝動性眼運動検査 (SE) の異常成績において、側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受

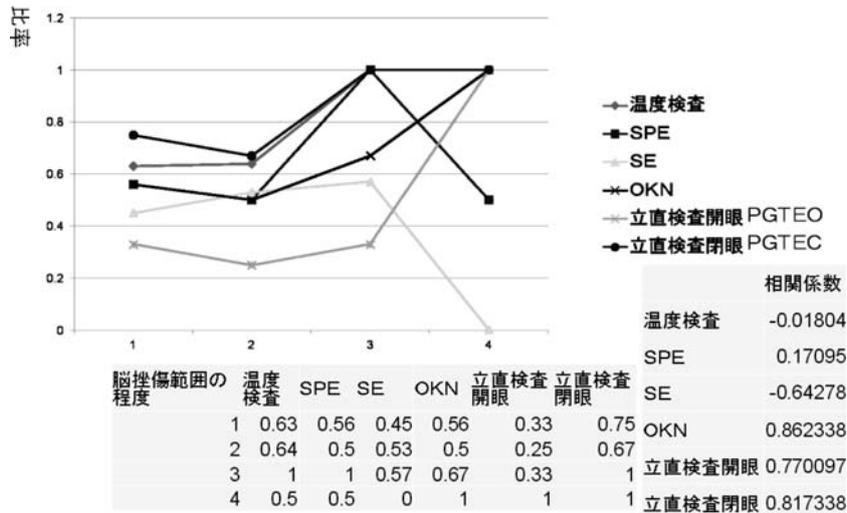


図 21 脳挫傷範囲の程度と平衡機能検査異常比率の相関

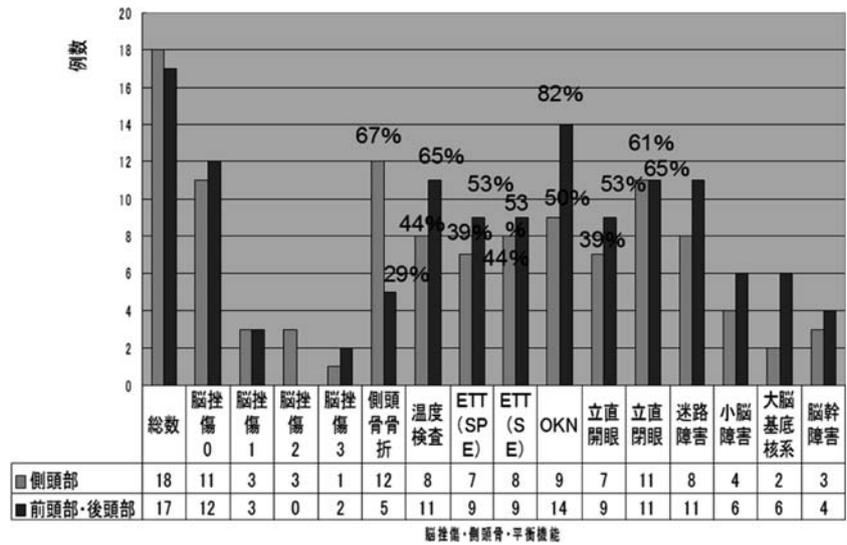


図 22 受傷部位と平衡機能検査異常例

傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数-0.77で高い逆相関があった。

図 26 に OKN 異常成績において、側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数 0.92 で、高い相関があった。

図 27 に重心動揺計検査（開眼）PGTEO の異常成績において、側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数-0.05 で、あまり相関がなかった。

図 28 に重心動揺計検査（閉眼）PGTEC の異常成績において、側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷

例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数 0.64 で、かなり高い相関があった。

b) 小括

意識消失期間の程度において、側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関を求めた。

- 1) 温度検査 (CP)；相関係数-0.95 高い逆相関がある。
- 2) 平滑性眼運動検査 (SPE)；相関係数-0.83 で高い逆相関がある。
- 3) 視運動性眼振検査 OKN；相関係数 0.92 で高い相関がある。
- 4) 重心動揺計検査開眼 PGTEO；相関係数-0.05 ほとんど相関なし。

側頭部受傷例(CS-HI)・前後頭部受傷例(CFB-HI)の  
相関係数  $-0.945073398$

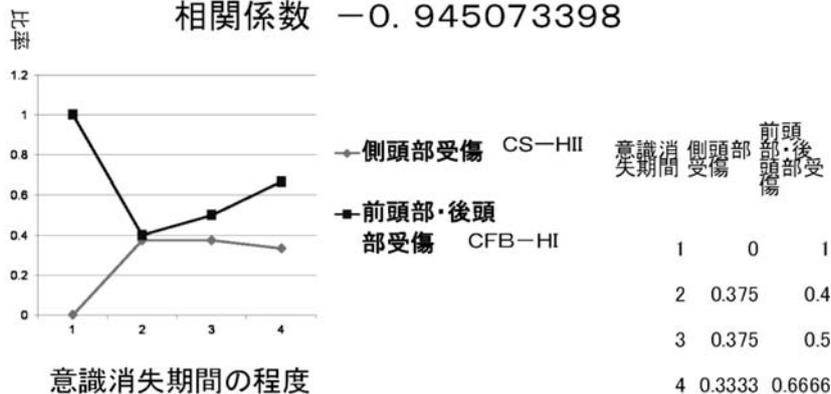


図 23 側頭部受傷例と前後頭部受傷例の温度検査異常例比率の相関

相関係数  $-0.830784176$

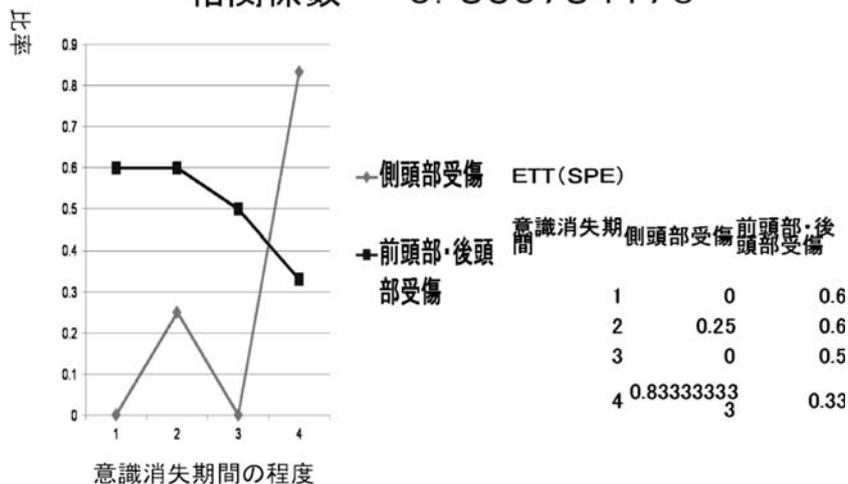


図 24 側頭部受傷例と前後頭部受傷例の平滑性眼運動検査 (SPE) 異常例比率の相関

相関係数  $-0.769057333$

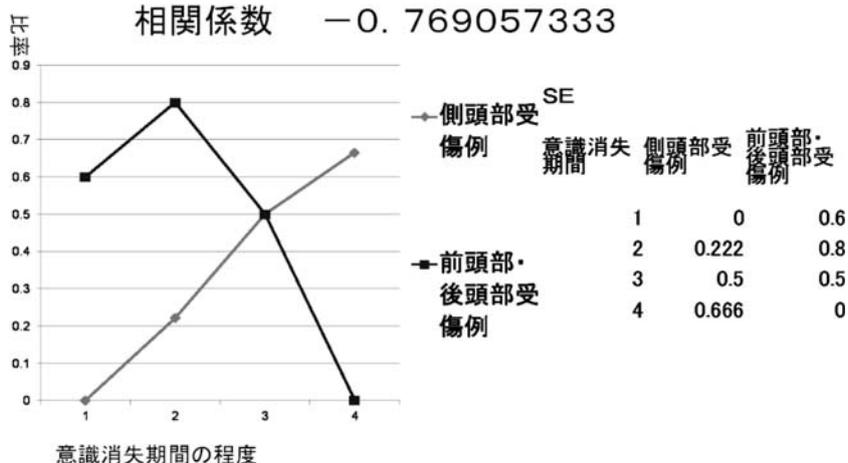


図 25 側頭部受傷例と前後頭部受傷例の衝動性眼運動検査 (SE) 異常例比率の相関

5) 重心動揺計検査閉眼 PGTEC：相関係数 0.64 でかなり高い相関がある。

迷路障害は意識消失との関連よりも直達力が迷路に及

んだとき生じる。平滑性眼運動は前後頭部受傷で意識喪失期間が短くても障害が出やすい。OKN、重心動揺計検査閉眼 PGTEC の異常は意識消失期間が長いほど出現し

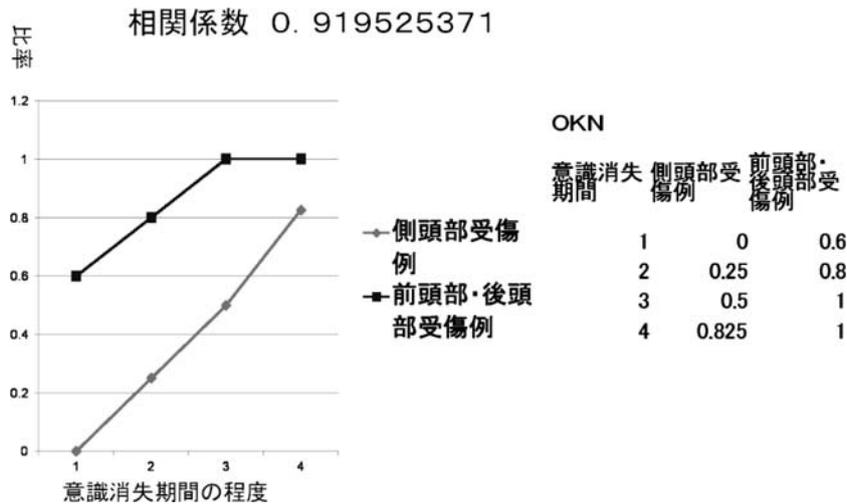


図 26 側頭部受傷例と前後頭部受傷例の視運動性眼振検査 (OKN) 異常例比率の相関

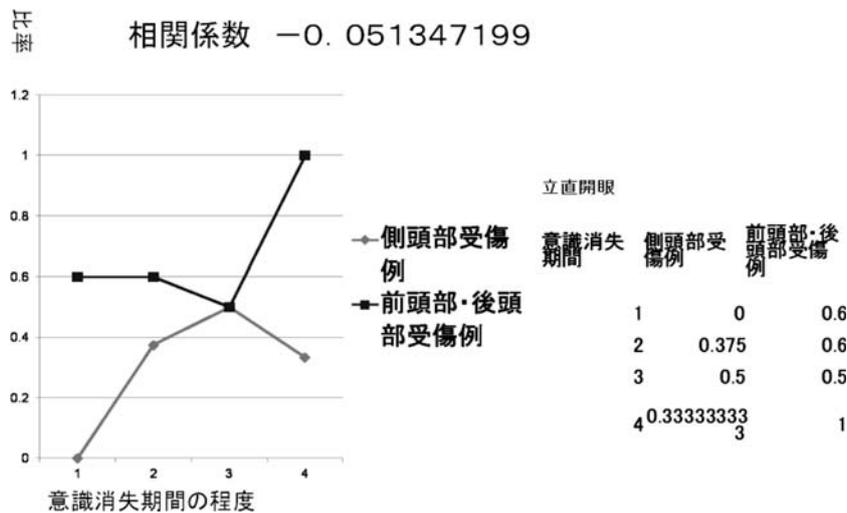


図 27 側頭部受傷例と前後頭部受傷例の重心動揺計検査 (開眼) PGTEO 異常例比率の相関

やすい。

VI 考 察

1) 意識消失期間の程度と側頭骨折・脳挫傷を伴うめまい症例

頭部外傷の初期の状態を把握するのに荒木の分類が用いられている。脳震盪の程度に 1997 American academy of neurology practice parameter も用いられているが、今回の症例は受傷後 1 年から 1 年半後に受診した人で、本人に聴取した意識消失期間の程度 4 段階に分類した。

内耳骨折内耳道骨折は grade2 で 4 例であった。もっとも多い。Grade3 で 3 例であった。grade4 で 2 例であった。grade2 で 24 時間以内の意識消失であった例に内耳骨折、内耳道骨折が多くあった。内耳骨折、内耳道骨折が意識消失期間の短い 24 時間以内で多いことは直達力が内耳に及ぶ方向があると考えられた。側頭骨縦骨折を

招きやすい前後方向よりの外力が示唆された。受傷後 1 年で歩行、直立できる中等度の頭部外傷後遺症において、意識消失期間の程度と脳挫傷範囲の程度の比率、側頭骨骨折の比率に高い相関があった。かつ脳挫傷例の比率が側頭骨骨折の比率より高い相関があった。

2) 温度検査と頭部外傷

脳挫傷範囲の程度と温度検査では脳挫傷なしと 1 カ所脳挫傷に 63%、75% に迷路低下を伴った。側頭骨骨折が 57%、62% であった (図 17)。脳挫傷範囲の程度と温度検査 (CP) 成績の異常例の比率の相関係数は -0.02 でほとんど相関ない (図 21)。この成績は迷路反応低下が側頭骨骨折により、内耳に及ぶ直達力の影響が大きく作用していると考えられる。左右方向の外力として側頭部受傷例と前後方向の外力として前後頭部受傷例をみると図 22 に温度検査の異常 (CP) 成績において、側頭部受傷例 (左右方向) 8 例と前後頭部受傷例 (前後方向) の 11 例であっ

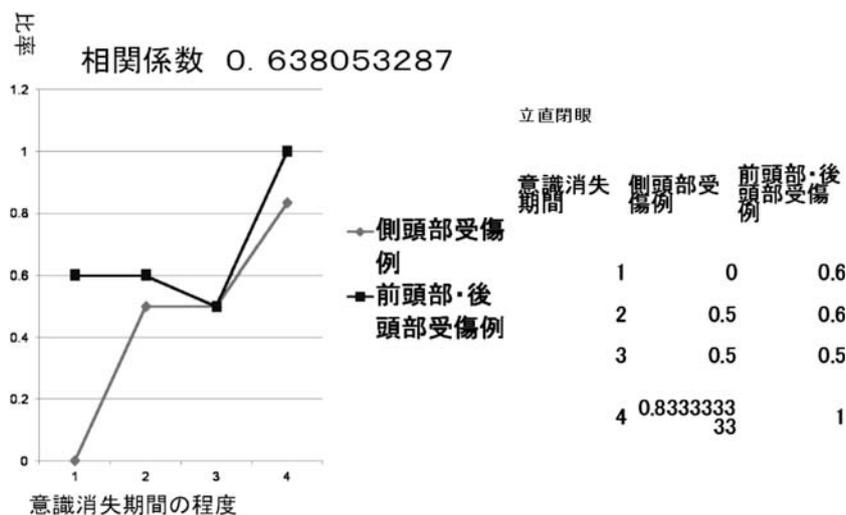


図 28 側頭部受傷例と前後頭部受傷例の重心動揺計検査（閉眼）PGTEC 異常例比率の相関

た。図 23 に温度検査の異常 (CP) 成績において、側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率との相関をみた。相関係数は  $-0.95$  で、高い逆相関があった。すなわち、前後頭部受傷例の方がより迷路反応低下を示し、直達力が前後方向の外力に加わることでより内耳障害を来しやすいことを示した。

Tiecks らによって前庭器温度刺激による誘発眼振出現中に後頭葉皮質の血流を減らすと述べている。Fasold らによって fMRI でヒトの前庭系システムに温度刺激加えてヒトの皮質前庭野の活動を見た結果、前庭系の右側大脳半球の優位性であったと述べている。今回の温度検査は迷路性眼振における迷路反応をみたが、眼振方向優位性や visual suppression test の成績を温度刺激に反応する皮質前庭野の障害の有無と、右側大脳半球の優位性を考慮した判断が必要になると思われた。

### 3) 視標追跡検査と頭部外傷

#### a) 平滑性眼運動検査 SPE

平滑性眼運動検査で脳挫傷なし (grade 1) から 3 カ所脳挫傷 (grade 4) で 15 例 56%, 4 例 50%, 3 例 100%, 2 例 50% の異常所見であった (図 18)。脳挫傷範囲の程度と平滑性眼運動検査 SPE 成績の異常例の比率の相関係数は  $0.17$  でほとんど相関がない (図 21)。外力の方向性での検討において平滑性眼運動検査 (SPE) の異常成績において、側頭部受傷例 (左右方向) 7 例と前後頭部受傷例 (前後方向) 9 例であった。側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率との相関をみた。相関係数  $-0.83$  で高い逆相関があった (図 24)。SPE の異常例は脳挫傷例が少なく、意識消失期間が 24 時間以内となしに

多くの症例があった。比較的軽度な頭部外傷例で、前後方向の外力が小さくても機能障害を示した。前頭葉後頭葉に含まれる平滑性眼運動回路につよく異常を来したものとする。外力が強く脳挫傷が広範囲になれば高次機能障害が強く出現し平滑性眼運動障害が主である症例が少なくなった背景があったと考えた。

文献的に平滑性眼運動はゆっくり動く対象物で誘発される。眼運動制御は刺激速度に応じた網膜入力信号に平滑性眼運動に対してつりあうようにして黄斑に対象物の像に保つことを目的にする。視覚フィードバック様にして、網膜外情報や求心性コピー信号は平滑性眼運動制御に最高に使われると Their and Ilg らが述べている。

平滑性眼運動の核心部位として網膜、視覚皮質、側頭葉・頭頂葉・後頭葉接合部なる V5 野、後部頭頂葉被質 PPC、前頭葉眼野 FEF、補足眼野 SEF、前頭前野背外側部 DLPFC、大脳基底核系、小脳であると、Lencer ら、Schmid ら、Tregellas らが述べている。V5 と外側下頭頂野 LIP は視覚フィードバックで平滑性眼運動の速度に関与している。皮質以外にも淡蒼球、尾状核、視床、小脳虫部、小脳片葉が速度に関与すると観察されたと Nagel らが述べている。

FEF、DLPFC、角回 angular gyrus は視標の軌跡に応じた予測眼運動を起こすと Nagel らが述べている。PPC は方向転換時に働き、滑らかな追視を行うと Buneo and Anderson が述べている。

#### b) 衝動性眼運動検査 SE

衝動性眼運動検査で脳挫傷なし (grade 1) から 3 カ所脳挫傷 (grade 4) で 13 例 48%, 5 例 63%, 2 例 67%, 0 例 0% の異常所見であった (図 18)。脳挫傷範囲の程度と衝動性眼運動検査 SE 成績の異常例の比率の相関係数は  $-0.64$  でかなり逆相関がある (図 21)。外力の方向性での検討において衝動性眼運動検査 (SE) の異常成績にお

いて、側頭部受傷例（左右方向）8例と前後頭部受傷例（前後方向）9例であった。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数は $-0.77$ で高い逆相関があった（図25）。SEの異常例も脳挫傷例が少なく、意識消失期間が24時間以内となしに多くの症例があった。本検討では比較的軽度な頭部外傷例で、前後方向の外力が小さくても機能障害を示した。前頭葉後頭葉に含まれる衝動性眼運動回路につよく異常を来したものと考え、前頭葉に外力が強く脳挫傷を来せば高次機能障害が強く出現して、高次機能障害認定症例となり、衝動性眼運動障害が主である症例が少なくなった背景があったと考えた。左右方向の外力は側頭骨錐体部に縦方向に作用し、側頭骨含気蜂巣が緩衝体となり、外力に応じた意識消失期間の程度に応じた障害の比率を示したと考えた。

文献的にはSpenglerらによって衝動性眼運動には3種類がある。反射性衝動性眼運動 reflexive saccades, 予測性眼運動 predictive saccades, 抗衝動性眼運動 anti-saccades がある。反射性衝動性眼運動の神経回路として網膜、視覚皮質、PPC、FEF、上丘、脳幹であり、予測性眼運動の神経回路として、網膜、視覚皮質、FEF、SEF、基底核系、上丘、脳幹であり、抗衝動性眼運動の神経回路として、網膜、視覚皮質、PPC、DLPFC-FEF-SEF-DLPFC、FEF、上丘、脳幹であるといわれている。Williamらは頭部外傷例受傷1年後衝動性眼運動検査SEで潜時の異常、正確度の異常の改善がないと述べた。SEの潜時の著明な延長が上丘、角回の上（Brodman39野）、PPCの受傷で出現した。Sharpeらは重度の前頭葉受傷例ではSEの潜時の延長があると述べている。Hypometria（正確度が低い）は前被蓋 prepectum 視床、上丘、小脳の障害で現れるとPierrot-Deseillignyら、Ohtsuka & Nodaが述べている。また、Pierrot-DeseillignyらはPPC、DLPFCの障害で潜時の異常、正確度の異常両方がでたと述べた。

本検討では比較的軽度な頭部外傷例で、前後方向の外力が小さくても機能障害を示した。前頭葉後頭葉に含まれる衝動性眼運動回路につよく異常を来したものと考え、前頭葉に外力が強く脳挫傷を来せば高次機能障害が強く出現して、高次機能障害認定症例となり、平衡機能障害が主である症例が少なくなった背景があったと考えた。

#### 4) 視運動眼振検査 (OKN) と頭部外傷

視運動眼振検査 (OKN) で脳挫傷なし (grade 1) から3カ所脳挫傷 (grade 4) で15例56%、5例50%、2例67%、4例100%の異常所見であった(図19)。脳挫傷範囲の程度と視運動眼振検査 (OKN) 成績の異常例の比率の相関係数は $0.86$ で高い相関があった(図21)。外力の方

向性での検討において視運動眼振検査 (OKN) の異常成績において、側頭部受傷例 (左右方向) 9例50%と前後頭部受傷例 (前後方向) 14例82%であった。側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例 (左右方向) 比率と前後頭部受傷例 (前後方向) の比率との相関をみた。相関係数 $0.92$ で高い相関があった(図26)。

OKNの異常例は脳挫傷範囲の程度が増すほど多く、かつ意識消失期間が長いほど多くなった。外力の方向差は前後方向が左右方向より異常例が多い傾向であった。OKNの神経回路で前頭葉・後頭葉系が視標追跡の役割があると考えられる。

本郷によれば、眼球運動は視標を見逃さないために発現する運動であり、前庭眼反射 vestibulo-ocular reflex (VOR) や視運動反応 optokinetic response (OKR) によりブレのない視野が得られる。VORはゆっくりとした回転加速度には鈍感であるため対応できない。そこで、OKRで誘発される視運動性眼振 optokinetic nystagmus を使って視標を捉えている。視標が現れた時にその方向にサッケードして自分の身体を向ける定位反応があり、これには眼の運動と頭の運動が一つの動きの様に一致して起こる眼球-頭部協調運動が伴うと述べられた。吉田、福島ら、永雄らによって、VORは頭部運動の加速度刺激で反応し、OKRは視覚的刺激で反応して視運動性眼振を誘発する。OKRの刺激情報は前庭神経核に入り、VORのメカニズムを共有して、お互いが補完的に働いて対象物を中心窩に捉えると述べた。八木によって、これらは前庭神経核と小脳の片葉小節や虫部が関与する前庭小脳の機能であると述べた。視運動性眼振の回路として、網膜、後頭葉、頭頂葉、前頭葉、外眼筋核がある。水田らはこの回路の障害で視運動性眼振に誘発されなくなると述べた。高倉はOKRを動かす知覚シグナルは網膜から中脳の視蓋前域に投影されると述べた。那須は一側前庭神経核障害は中枢性代償にて静的バランスは是正されるが、動的バランスは完全には回復しないがVORを行っても眼振緩徐相の左右差が認められないと述べた。受傷1年後の検査では迷路障害・前庭神経核障害は視運動性眼振検査の成績への影響が少ないと考えた。そして脳挫傷範囲の程度、意識消失期間の程度に高い相関があった。かつ前後方向の外力が加わる方が障害比率の高いことを示した。視性眼運動系の全体の後遺症の程度を把握するにはよい視標の一つと思われた。

#### 5) 重心動揺計 (立直) 検査 PGT と頭部外傷

a) 重心動揺計 (立直) 検査開眼 PGTEO では脳挫傷がなし、1カ所から3カ所に程度が増すと33%9例、25%2例、33%1例、100%4例に異常となった(図20)。脳挫傷範囲の程度と重心動揺計検査開眼異常成績の比率の相関係数は $0.77$ で高い相関があった(図21)。外力の方向性での検討においての開眼立直検査 PGTEO 異常成績におい

て、側頭部受傷例（左右方向）7例39%と前後頭部受傷例（前後方向）9例53%であった。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数は $-0.05$ であり相関がなかった（図27）。開眼検査において、前後頭部受傷例（前後方向）で前頭葉・後頭葉に外力による障害で脳挫傷と認められなくても視覚脊髄反射系に機能異常を来した影響があったと考えた。

b) 重心動揺計検査閉眼PGTECでは脳挫傷がなし、1カ所から3カ所に程度が増すと78%21例、63%5例、100%3例、100%4例に異常となった（図20）。脳挫傷範囲の程度と立直検査閉眼異常成績の比率の相関係数は $0.82$ で高い相関があった（図21）。外力の方向性での検討においての重心動揺計検査閉眼異常成績において、側頭部受傷例（左右方向）7例39%と前後頭部受傷例（前後方向）9例53%であった。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率を意識消失期間の程度を表した。側頭部受傷例（左右方向）比率と前後頭部受傷例（前後方向）の比率との相関をみた。相関係数は $0.64$ でかなり高い相関があった（図28）。閉眼という視覚安定システムの関与が少ない条件下では前後方向左右方向の外力による機能障害が出現しがたいことを示した。重心動揺計（立直）検査PGTをみるに姿勢制御をバックグラウンドとして考慮する必要がある。姿勢制御として姿勢筋緊張の設定、姿勢反射の制御、姿勢の平衡バランスの調整がある。基本的姿勢制御として、姿勢反射、姿勢筋緊張がある。その神経機構は脳幹と脊髄にある。しかし、予測困難な状況に際してリアルタイムに姿勢を制御するためには、中枢神経系における神経回路の活動の状況変更と積極的な身体の内外環境からの感覚情報の取り込みを余儀なくされる。静的姿勢反射として立直反射がある。

有働は姿勢制御は、外乱に対して姿勢を維持するための姿勢反射と、上肢などの身体の一部の随意運動を達成するために無意識的に姿勢調節に分けられると述べた。

川人は、人間の立位姿勢は、逆さ振り子 inverted pendulum に例えられるように、高い位置にあって不安定な身体重心のずれを反射等によって修正することで維持される。脳幹から網様体脊髄路によって伸筋が持続的に活動することで立位が保持されるが、重心の移動は脳によって常にモニターされている。外乱に対しては、下肢遠位の関節から頸部の順に反射によって姿勢の修正が行われ、重心の乱れが抑えられると述べ、姿勢反射は、長潜時の伸張反射 stretch reflex, 脊髄での伸張反射, 支持反応 supporting reaction などの局所性姿勢反応, 交叉伸展反射 crossed extension reflex, 屈曲反射 flexion reflex などの体節性姿勢反応, 緊張性頸反射 tonic neck reflex,

立ち直り反射 righting reflex などの全身性姿勢反応に分類される。これらの反射や反応は、脊髄、延髄、中脳など各部位が関与し、大脳基底核によって統合される。小脳虫部には、体幹の状態がフィードバックされ、姿勢を調節しながら、体幹の内部モデルが形成されることで、環境や運動に応じた調節が可能になると述べた。Diener & Dichgans はヒトの直立姿勢の維持には視覚系、前庭系、体性感覚系システムからの入力を受けて、脊髄反射系が体系化して、行われるという。更に随意運動遂行時の姿勢反射において、Nashner はこれに応じた姿勢調節 postural set と呼び、大脳連合野、大脳基底核、新小脳によって運動指令が用意され、最適な姿勢がとられると述べている。那須は受傷1年後に一側前庭神経核障害は中枢性代償にて静的バランスは是正されるが、動的バランスは完全には回復しないがVORを行っても眼振緩徐相の左右差が認められないと述べた。Lahat らは頭部外傷の後遺症を把握するには身体動揺計検査がコスト的に効果的であると述べた。

これらの点でも立直検査重心動揺計検査PGTは姿勢制御の一つである。受傷1年後の検査は中枢性代償が完成した時期と考えられて、頭部外傷の後遺症の判断の有用な検査の一つであると考えた。

## VII まとめ

脳挫傷範囲の程度との相関なく、頭部の左右方向より前後方向の直達力にて迷路障害例が多くあった。外力の前後と左右方向で温度検査、平滑性眼運動検査、衝動性眼運動検査の成績の差があった。頭部受傷方向で成績の差があった。脳挫傷範囲の程度において、RAC-SPEとRAC-SEに差があった。これは平滑性眼運動系よりも衝動性眼運動系の複雑神経回路が大きいと考えた。視運動性眼振検査OKNと身体動揺計検査閉眼PGTEC成績の異常例比率は意識消失期間の程度と脳挫傷範囲の程度が強いほど高くでた。

すなわち、視運動性眼振検査と閉眼身体動揺計検査は頭部外傷の全体の評価に有用である。

## 文献

- 1) 荒木千里：頭部外傷・脊椎損傷・脊髄損傷・頭部外傷後胎症、日本外科全書。第10巻。日本外科全書刊行会、1954。
- 2) American Academy of Neurology: Practice parameter: The management of concussion in sports summary statement. report of the quality standards committee. Neurology 48: 581—585, 1997.
- 3) Tiecks FP, Planc J, Haberl RL, Brandt T: Reduction in posterior cerebral artery blood flow velocity during caloric vestibular stimulation. J Cereb Blood Flow Metab 16: 1379—1382, 1996.
- 4) Fasold O, von Brevern M, Kuhberg M, et al: Human vestibular cortex as identified with caloric stimulation inflection magnetic resonance imaging. NeuroImage 17:

- 1384—1393, 2002.
- 5) Their P, Ilg UJ: The neural basis of smooth pursuit eye movements. *Curr Opin Neurobiol* 15: 645—652, 2005.
  - 6) Lenser R, Nagel M, Sprenger A, et al: Cortical mechanisms of smooth pursuit eye movements with target blanking. An fMRI study. *Eur J Neurosci* 19: 1430—1436, 2004.
  - 7) Schmid A, Rees G, Frith C, Barnes G: An fMRI study of anticipation and learning of smooth pursuit eye movements in humans. *Neuroreport* 12: 1409—1414, 2001.
  - 8) Tregellas JR, Tanabe JL, Miller DE, Freedmann R: Monitoring eye movements during fMRI tasks with echo planar images. *Hum Brain Mapp* 17: 237—243, 2002.
  - 9) Nagel M, Sprenger A, Hohagen F, et al: Cortical mechanisms of retinal and extraretinal smooth pursuit eye movements to different target velocities. *NeuroImage* 41: 483—492, 2008.
  - 10) Buneo CA, Anderson RA: The posterior parietal cortex: sensorimotor interface for the planning and online control of visually guided movements. *Neuropsychologia* 44: 2594—2606, 2006.
  - 11) Spengler D, Trillenber P, Spenger A, et al: Evidence from increased anticipation of predictive saccades for a dysfunction of fronto-striatal circuits in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Reseach* 143: 77—88, 2006.
  - 12) Williams IM, Ponsford JL, Gibson KL, et al: Cerebral control of saccades and neuropsychological test results after injury. *J Clin Neuroscience* 4: 186—196, 1997.
  - 13) Sharpe JA, Herishanu YO, White OB: Cerebral square wave jerks. *Neurology* 32: 57—62, 1982.
  - 14) Pierrot-Deseilligny C, Rivaud S, Gaymard B, Agid Y: Cortical control of memory-guided saccades in man. *Exp Brain Res* 83: 607—617, 1991.
  - 15) Ohtsuka K, Noda H: The effect of microstimulation of the oculomotor vermis on discharges of fastigial neurons and visually-directed saccades in macaques. *Neurosci Res* 10: 290—295, 1991.
  - 16) 本郷利憲, 他: 標準生理学. 医学書院, 2005, pp 353—358.
  - 17) 吉田 薫: 水平性サッケードの脳幹神経機構. *神経研究の進歩* 40: 323—336, 1996.
  - 18) 福島菊郎, 福島順子: 前頭葉での眼球運動制御. *脳の科学* 25: 646—646, 2003.
  - 19) 永雄総一, 北澤宏理, 首藤文洋: 小脳による眼球運動制御. *脳の科学* 25: 1—646, 2003.
  - 20) 八木沼洋行: 小脳の構造と入出力. *神経研究の進歩* 44: 671—687, 2000.
  - 21) 水田啓介, 久世文也, 山田南星, 伊藤八次: 視運動刺激による大脳活動. *Brain Medical* 13: 163—168, 2001.
  - 22) 高倉公朋(監訳): ビジュアルテクニスト脳神経. 医学書院, 2004, pp 234—264.
  - 23) 那須 隆: 前庭動眼反射と視運動性眼振の相互作用に関する臨床的研究. *山形大学紀要医学* 20: 45—55, 2004.
  - 24) 有働正夫: 脊髄反射系と姿勢反射. *日本臨床* 45: 239—244, 1987.
  - 25) 川人光男: 脳の計算理論. 東京, 産業図書, 1996.
  - 26) Diener HC, Dichgans J: On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans, *Progress in Brain Research*, Vol 76. Pompeiano O, Allum JHJ, editors. New York, Elsevier, 1988, pp 253—262.
  - 27) Nashner LM: Adapting reflexes controlling human posture. *Exp Brain Res* 26: 59—72, 1976.
  - 28) Lahat E, Barr J, Klin B, et al: Postural stability by computerized posturography in miner head trauma. *Pediatr Neurol* 15: 299—301, 1996.
- 
- 別刷請求先** 〒455-8530 名古屋市港区港明1—10—6  
労働者健康福祉機構中部労災病院耳鼻咽喉科  
正木 道熹
- Reprint request:**  
Michihiro Masaki  
Department of Otorhinolaryngology, Chubu Rosai Hospital,  
1-10-6, Koumei, Minato-ku, Nagoya-city, 455-8530, Japan

## Study of the Result of Equilibrium Function Test One Year after Head Injury —The Level of the Brain Contusion Area and an Unconscious Period

Michihiro Masaki and Kenichi Wada

Department of Otorhinolaryngology, Chubu Rosai Hospital

**Object:** We evaluated the usefulness of the equilibrium function tests for the aftereffects of head injury. The 42 cases had vertigo, dizziness and floating sensation by head injury. We did functional tests of equilibrium one year after the head injury. They consisted of 37 males and 5 females with ages ranging from 25 to 69 years. They were able to walk on test-time. The unconscious period (UP) was divided into four grades as follows. Grade 1 was 0. Grade 2 was less than 24 hours. Grade 3 was from 1 day to 7 days. Grade 4 was more than 7 days. The brain contusion area (BCA) was divided into four grades as follows. Grade 1 was 0. Grade 2 was one part. Grade 3 was two parts. Grade 4 was parts more than three.

**Method:** 1: We calculated the correlation coefficient (CC) between the grade of BCA (GOBCA) and the rate of the cases of the equilibrium function inspection abnormality results.

2: We examined the grade of UP (Goup) whether a difference appeared the aftereffects of the head injury in a direction of the external force. We performed the correlation analysis of the equilibrium function inspection abnormality results with the 18 cases of side-head injury (CS-HI) and the 17 cases of fore-back-head injury (CFB-HI).

**Result:** 1: The CC between grade of BCA (GOBCA) and the ratio of the abnormal case with caloric test; RC-CP was  $-0.02$ . The CC between GOBCA and the ratio of the abnormal case with smooth pursuit eye movement test (RAC-SPE) was  $0.17$ . The CC between GOBCA and the ratio of the abnormal case with saccade eye movement test (RAC-SE) was  $-0.64$ . The CC between GOBCA and the ratio of the abnormal case with optokinetic nystagmus test (RAC-OKN) was  $0.86$ . The CC between GOBCA and the ratio of the abnormal case with postural gravicoder test, eyes opened (RAC-PGTEO) was  $0.77$ . The CC between GOBCA and the ratio of the abnormal case with postural gravicoder test, eyes closed (RAC-PGTEC) was  $0.81$ . 2: We calculated the CC between the rate of the equilibrium function inspection abnormality results (REFIAR) with 18 CS-HI and the REFTAR of 17CFB-PHI. Calculated result was as follows. In RC-CP; The CC was  $-0.95$ . In RAC-SPE; The CC was  $-0.83$ . In RAC-SE; The CC was  $-0.77$ . In RAC-OKN; The CC was  $0.92$ . In RAC-PGTEO; The CC was  $-0.05$ . In RAC-PGTEC; The CC was  $0.64$ .

**Conclusion:** The labyrinthine disorder was not correlated with GOBCA. This happened by the direct force of fore-back-direction more than side-direction. In the RC-CP, RAC-SPE and RAC-SE the difference appeared between CS-HI and CFB-HI. The difference in RAC-SPE and in RAC-SE appeared in the GOBCA. This difference was considered the neural multiple networks of saccade eye movement system larger than smooth pursuit eye movement system. RAC-OKN and RAC-PGTEC were significant correlated with Goup and GOBCA. Therefore OKN and PGTEC were useful to evaluate the mild head injury.

(JJOMT, 61: 33—49, 2013)