前庭および頸性眼反射の定量的評価[†]

久保 武, 白石 孝之, 荻野 仁, 松 永 亨*

緒 言

頭部の運動時に固視を保つためには、円滑な代償性眼反射の働きが必要であるが、この反射は視性、前庭性および頸性の3種の入力により成り立っている。視性眼反射および前庭性眼反射 (VOR) の利得は頭部運動の周波数によって異なり、低い周波数域では視性眼反射が、高い周波数域では VOR が主として働くことが知られている⁴⁾¹¹⁾¹⁴⁾。他方、頸性眼反射 (COR) の役割りについては定かではなく、VOR と協調して固視を助けるという報告¹⁾¹¹⁾と、COR は VOR と逆の方向 (反代償性) におこるという最近の報告²⁾⁷⁾⁹⁾がある。また、眼偏位の位相にはばらつきが多く、代償性、反代償性どちらの反応もみられるという報告³⁾¹³⁾もある。臨床面においては、頸部の傷害に起因すると考えられるめまい症例も多いので、VOR のみでなく COR の客観的評価も是非必要なことと思われる。この様な観点から、今回我々は、健康成人を対象に VOR および COR の定量的評価を試みた。

研究対象と方法

難聴、めまいの既往のない健康成人21人を対象に、バネ式減衰振子様回転椅子を用い、VOR、開眼時の視運動+前庭性眼反射 (OVR) および COR を計測した。本実験に用いた回転装置の詳細は既に報告されている⁸⁾が、簡単に述べると、被検者の頭をヘルメットとあごひもで固定し、VOR および OVR 測定時にはヘルメットは椅子と同期して回転し、COR 測定時にはヘルメットは正中位に固定され、軀幹のみが回転するものである。椅子の位置はポテンショメーターで記録出来るが、今回はさらに校正出力をもつ微分回路を使用し回転角速度も同時に記録出来る様にした。水平性の眼球運動は、ENG 法にて、時定数3秒、25Hz のハイカットフィルター使用の条件で、ペン書き記録した。ENG 記録の始めと終りに20°の視角をもつ視標をみせ校正を行なった。眼振の緩徐相速度を手計測し、緩徐相速度/椅子 (頭) の最高角速度を求め、VOR および OVR の利得を計算した。回転検査を行なった部屋は十分な広さをもつ無響室

であり、うす明りの下に暗算負荷の条件で VOR を記録した。OVR の記録は、開眼をし眼前の部屋の景色をみさせる (注視点は与えない) という条件下で行なった。

COR の記録は、閉眼で特に負荷を与えない状態で行なった²⁾。少数の頭の固定が不十分と思われた例には、検者が後方より被検者の頭を手でささえて動かない様にした。COR 記録時には、フォトセルを用い回転の開始点より加算器をトリガーし、回転の停止まで掃引を行ない、この操作を5回くり返して平均加算を行なった。COR の利得は、最大眼偏位/椅子 (体) の最大偏位で求めた。COR 測定の場合、頭は軀幹に対し相対的に逆位相で捻れることになる。したがって、眼偏位は、体の偏位と同位相でおこる時に代償性となり、逆の位相でおこる場合には反代償性となる。眼と頭の偏位が同位相にあるときを0として、眼偏位の位相を計測した。

結 果

1. VOR および OVR について

本研究に用いた装置はバネの反発力により回転するので、各被検者の重量により椅子の偏位角および角速度がやや異なる。表1は、VOR および OVR 計測の際の椅子 (頭) の最高角速度の平均値と標準偏差値を示したものである。予備実験により、VOR および OVR の利得は、回転の角速度が減衰していてもほぼ一定であることがわかったので、今回は第1, 第3, 第5回転を計測の対象にした。図1は、VOR および OVR (OP-VES で示す) の利得を右回転時と左回転時とにわけて図示したものであるが、それぞれの利得は頭の角速度に関係なくほぼ一定の値を示し、左右差も殆んどない。VOR の利得は、右回転時0.59, 左回転時0.57で、左右の総平均値は0.58 (SD 0.17) であった。OVR の利得は、右回転時0.87, 左回転時0.81で、左右の総平均値は0.85 (SD 0.25) であった。VOR と OVR の利得の間には、高い有意の差があった ($P < 0.01$, t -test)。

回転の周波数は、各被検者間でやや異なり最小 0.19

表1 頭の最高角速度 (°/秒)

	第1回転	第3回転	第5回転
右回転	77.4(8.4)	57.2(7.6)	34.9(9.0)
左回転	72.2(7.3)	51.3(6.0)	32.7(7.7)

各回転における頭の最高角速度 (°/秒)。

*Quantitative assessment of vestibulo- and cervicoocular reflexes in normal humans.

*T. Kubo, T. Shiraishi, H. Ogino and T. Matsunaga, Dept. of Otolaryngology, Osaka University School of Medicine.

*大阪大学医学部耳鼻科

図1 VOR および OVR (OP-VES) の利得。縦軸に利得、横軸に減衰振子様回転の第1～第5回転を示す。

表2 体の回転角(度)

	第1回転	第3回転	第5回転
右回転	29.4(1.2)	15.5(1.9)	7.1(1.9)
左回転	24.2(1.2)	12.7(2.1)	5.3(1.6)

各回転における軀幹の回転角。

図2 軀幹の偏位曲線と眼の偏位曲線。いずれも上向きは左方向への偏位を示す。軀幹の位置に対する校正は30°, 眼偏位に対する校正は8°を示す。

回転により振幅が小さくなっていても周期にはあまり変化がみられず、第1回転と第5回転の間で平均0.31秒の周期の延長があったのみである。この様な回転周波数域では、眼偏位は頭の偏位に対し常に代償性におこっていた。

2. COR について

COR を VOR と同様、第1、第3、第5回転について計測した。表2は、各回転における椅子(軀幹)の最大偏位角の平均値と標準偏差値を示したものである。

図2は、椅子(体)の偏位と眼運動を加算したものであるが、21人の被検者のうち6人ではAのごとく周期的な眼運動が殆んど認められず、CORは無反応と判定した。他の6人においては、図2-Bのごとく比較的小さな眼偏位が刺激の大きさとほぼ一定の対応をもって認められた。残りの9人においては、図2-Cに示すごとく、体の偏位が小さくなってゆくとかえって眼偏位が増大(利得が増加)する現象が認められた。Cの群に属する9人の被検者のうち5人で、1～2ヵ月後に再検査をしてみると、うち2人では前回と同様の反応がみられたが、残りの3人ではフラットな利得を示し図2-Bの様な反応がみられた。便宜の為、図2-Cの反応を仮にCORのrecruitmentとし、この様な反応を示す群をR(+)群と呼称し、図2-Bの反応を示す群をR(-)群とする。

図3-Aは、R(-)群のCORの利得と位相の平均および標準偏差を示したものである。利得は、右回転時0.16、左回転時0.17で、左右の総平均は0.16(SD 0.058)である。COR計測時の回転の周波数の最小値および最大値は、それぞれ0.28Hzおよび0.37Hzで、平均は0.33Hzであった。眼偏位は、体の偏位に対し平均84°の位相の進みがみられ、回転の振幅が小さくなってゆくと位相の進みはやや小さくなる傾向がみうけられる。図3-Bは、R(+)群の利得と位相を示したものである。この群においては、第1回転における利得(0.34)はR(-)群とあまりかわらないのであるが、第3、第5回転で利得が非常に大きくなり、第5回転における利得は左右共1をこえている。R(+)群におけるCORの利得の総平均は、0.81(SD 0.30)である。眼偏位の位相は、R(-)群と殆んど差がなく、平均79°の位相の進みがみられた。

3. VOR と COR の利得の相関について

CORを計測することの出来た15名について、VORの利得の平均値と、CORの第1回転の利得との相関を調べた。図4-Aは、頭が空間において右へ回転するVOR刺激と、頭が軀幹に対し相対的に右へ回転するCOR刺激との間で反応の相関をみたものであり、図4-Bはその逆の組み合わせによるものである。相関係数

Hz, 最大0.25Hzで、平均は0.22Hzであった。減衰

図3 CORの利得と位相。
A. Recruitment (－)群の利得と位相。
B. Recruitment (＋)群の利得と位相。

図4 各被検者のVORとCORの利得の相関。横軸にVORの利得、縦軸にCORの利得を示す。A. 右回転の平均VOR利得と、左回転のCOR利得(第1回転)利得の相関を15人の被検者でみたもの。B. Aの逆回転を同様にしてみたもの。

は、A、Bそれぞれ0.413、0.302であり、どちらの場合も、二種の反射の間に強い相関はみられなかった。

考 按

減衰振子様回転を用い、21人の健康成人において計測したVORは、平均0.22Hzの周波数で平均利得0.58 (SD 0.17)であった。VORの利得は、椅子の角速度が減衰していっても一定であった。しかし、VOR利得の個体差は大きく、95%信頼限界値は0.25～0.92となった。したがって、利得の絶対値のみで、この系の異常の有無を判定することは困難であると思われる。しかし、同一個体では、左右の回転における利得の差は非常に小さく、左右差の95%信頼限界は±0.16である。これ以上の差があれば、眼振の方向優位性を疑えるので、この検

査法は左右差の検出に適していると思われる。開眼で回転した場合(OVR)には、VORと視運動性眼反射とが協調して働くので利得は増大し、平均0.85 (SD 0.25)となった。OVRの場合にも個体差は大きく、95%信頼限界値は0.36～1.34と幅広い。しかし利得の左右差はVORよりさらに小さく、95%信頼限界は±0.11であった。また、21人の被検者全例において、OVRの利得はVORのそれより高く、統計的にも二種の反応の間には高い有意の差があった。ある種の小脳障害時には、VORの利得が増大するとされているが、このような中枢疾患の際にVORとOVRの利得がどう変化するか、今後検討すべき興味深い問題と思われる。

Barlow and Freedman²⁾は、種々の条件下でCORを

測定したが、閉眼にて注意を集中させる負荷を加えた時よりも、閉眼にてリラックスしている時の方が利得が大きく、VOR と異なった面をもつことを報告している。彼らの研究によると、閉眼リラックスの条件下での COR 利得は $0.08 \sim 0.1$ ($0.2 \sim 0.4$ Hz) であり、Takemori and Suzuki の報告¹³⁾ 0.08 (0.2 Hz) とよく一致している。

我々も、Barlow and Freedman の結果に従い、閉眼リラックスの条件下で COR の測定を行なったが、減衰振子様回転を用いたため今迄の報告にない反応も得られた。すなわち、COR の殆んど認められない群、低い一定の利得を示す群 (R(-) 群)、recruitment を示し非常に大きな利得を示す群 (R(+) 群) といった 3 種の反応が得られた。しかし、第 1 回転では後二者の群の間で利得の差は少なかった。両者の第一回転での利得の平均は 0.25 (SD 0.17) であり、Barnes and Forbat³⁾ が比較的大きな眼偏位のみられる群で計測した COR の利得 $0.19 \sim 0.35$ ($0.2 \sim 0.4$ Hz) とよく一致している。他方 Meiry¹¹⁾ はやや高い COR の利得 (0.3 , $0.2 \sim 0.4$ Hz) を報告している。この様な値に比べ、R(+) 群では回転の後半に他の報告にはみられない様な非常に大きな COR の利得が測定された。利得がこの様に高くなる場合、頭の動きによる VOR の関与についても考慮しなければならない。まず第一に、非常に小さな頭の動きはいくら固定をしっかりとんでもさけられない現象であるが、検者が観察した限りでは頭の動きは殆んどみられなかったもので、仮にあったとしても 5° 以下であろうと想定できる。この場合でも VOR による眼偏位は 3° 前後であるので、R(+) 群の平均 0.81 という高い利得の説明にはならない。第二に、頭のもっとも動きやすいと思われる第一回転においては、R(+) 群の利得は低い。この様な理由から、利得が第 3、第 5 回転と次第に大きくなる recruitment の現象は、頭の動きからくる現象ではないと考えられる。この現象の発現機序は全く不明であるが、再度の検査で recruitment が消失し一定の利得を示した例もあるので、各々の被検者に恒常的に表われる絶対的なものではないといえる。回転感覚の様な心理的な要因も関係している様に思われる。

COR の体の偏位に対する位相は個体差が大きく、代償性～反対償性の眼偏位という幅広い反応がみられた。これには、R(-) 群、R(+) 群の両群で差はなく、平均 82° (SD 33.6°) の位相の進みがみられた。Barany¹⁾ および Meiry¹¹⁾ は、COR は代償性 (体の偏位と同位相) におこり、固視に対し VOR と協調的に働くと報告している。他方、Gresty⁹⁾、Fuller⁷⁾ の動物、Barlow and Freedman の人²⁾ による研究では、COR は常に反代償性におこると述べられている。Takemori and Suzuki¹³⁾、

Barnes and Forbat³⁾ 等の報告および本実験では COR の位相は幅広く分散していた。また、Suzuki は家兎を用い 0.2 Hz の回転では位相のばらつきは大きい、 0.125 Hz 以下の回転では代償性の眼偏位がみられたと報告している¹²⁾。これ等を総合して考えると、COR が常に VOR と同じ側に働きその利得を高めるとは単純に考えられない様である。高い周波数 ($2 \sim 5$ Hz) の回転を他動的に行なうと、VOR の利得は 1 をこえて大きくなるという報告⁵⁾¹⁰⁾があるが、態動的頭振り運動により頸部刺激も加わった回転をさせると利得は常に 1 である¹⁴⁾。したがって、頸部の受容器は態動的頭振り運動の際に、頭の位置に関する情報を中枢に送り、眼球運動を何らかの形で調整するのに役立っていると考えられる。

Dichgans 等は猿で、両側前庭神経切断後 COR の利得の増加を報告している⁶⁾。本研究では、健康成人で VOR の利得と COR の利得との相関を調べたが、有意の相関はなかった。この事は、我々が調べた周波数域では、代償性眼反射に対し COR は重要な意味を持たないことを示唆していると思われる。VOR の著明な障害を有するめまい患者における VOR と COR の評価については、今後検討を進めてゆきたい。

結 語

前庭眼反射 (VOR)、視性+前庭眼反射 (OVR) および頸性眼反射 (COR) を、減衰振子様回転を用い 21 人の健康成人において検討した。

(1) VOR の利得は、 0.22 Hz の回転で平均 0.58 (SD 0.17) であり、OVR のそれは 0.85 (SD 0.25) であった。両者の間には高い有意の差があった ($P < 0.01$, t -test)。

(2) COR は、21 人のうち 6 人で認め難く、他の 6 人では減衰回転の各周期でフラットな利得 (平均 0.16 , 0.33 Hz) を示した。残りの 9 人では回転の後半の周期で利得が高くなる現象 recruitment がみられ、高い平均利得 (0.81) を示した。

(3) COR の位相は大きなばらつきを示したが、体の偏位より平均 82° (SD 33.6°) 進んでいた。したがって、検査した周波数域では COR は VOR を助ける方向にはおこっていなかった。

(4) VOR の利得と、COR の利得の間の相関を調べたが、有意の相関は認められなかった。

文 献

- 1) Bárány, R.: Augenbewegungen durch Thoraxbewegungen ausgelöst. Zbl Physiol 20: 298-302, 1906.
- 2) Barlow, D. and Freedman, Wm.: Cervico-ocular reflex in the normal adult. Acta Otolaryngol 89: 487-496, 1980.

- 3) Barnes, G.R. and Forbat, L.N. : Cervical and vestibular afferent control of oculomotor response in man. *Acta Otolaryngol* 88 : 79-87, 1979.
- 4) Barr, C.C., Schultheis, L.W. and Robinson, D.A. : Voluntary, non-visual control of the human vestibuloocular reflex. *Acta Otolaryngol* 81 : 365-375, 1976.
- 5) Benson, A.J. : Interactions between semicircular canals and gravireceptors. In *Recent Advances in Aerospace Medicine* (ed. D.E. Busby), p. 249, D. Reidel, Dordrecht, 1970.
- 6) Dichgans, J., Bizzi, E., Morasso, P. and Tagliasco, V. : Mechanisms underlying recovery of eye-head coordination following bilateral labyrinthectomy in monkeys. *Exp Brain Res* 18 : 548-562, 1973.
- 7) Fuller, J.H. : The dynamic neck-eye reflex in mammals. *Exp Brain Res* 41 : 29-35, 1980.
- 8) 古川裕 : 水平頭振後眼振検査 (HSAN test) の臨床的ならびに実験的研究. *日耳鼻* 83 : 923-940, 1980.
- 9) Gresty, M.A. : Reexamination of "neck reflex" eye movements in the rabbit. *Acta Otolaryngol* 81 : 386-394, 1976.
- 10) Keller, E. : Gain of the vestibulo-ocular reflex in monkey at high rotational frequencies. *Vision Res* 18 : 311-321, 1978.
- 11) Meiry, J.L. : Vestibular and proprioceptive stabilization of eye movement. In *The Control of Eye Movements* (ed. P. Bach-y-Rita, C. Collins & J.E. Hyde), pp. 483-496, Academic press, New York, London, 1971.
- 12) Suzuki, J. : Vestibular and spinal control of eye movements. *Bibl Ophthalmol* 82 : 109-115, 1972.
- 13) Takemori, S. and Suzuki, J. : Eye deviations from neck torsion in humans. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 80 : 439-444, 1971.
- 14) Thomlinson, R.D., Saunders, G.E. and Schwarz, D.W.F. : Analysis of human vestibulo-ocular reflex during active head movements. *Acta Otolaryngol* 90 : 184-190, 1980.

Abstract

Vestibuloocular reflex (VOR), optovestibular reflex (OVR) and cervicoocular reflex (COR) were quantitatively analyzed in 21 healthy subjects using damped pendular rotation (DPR) in the yaw plane. VOR and OVR gains showed constant values irrespective to head angular velocities; the mean VOR gain was 0.58 (SD 0.17), and that of OVR gain was 0.85 (SD 0.25) at 0.22 Hz of DPR. There was a significant difference between VOR and OVR gains ($P < 0.01$, t-test). COR was almost absent and was not measurable in 6 subjects of the 21. Six other subjects showed constant gain (mean 0.16, SD 0.06) over the course of DPR (frequency 0.33 Hz). The remaining 9 subjects showed gain enhancement at later cycles (3rd to 5th cycles) of DPR. The mean COR gain of this group was 0.81 (SD 0.30). Cervically induced eye deviation occurred in an anticomensatory mode in most of the cases with the mean phase advancement of 82° (SD 33.6°). There was no significant correlation between VOR and COR gains in healthy human subjects.