

めまい検査を活用しようー適応と評価ー

温度刺激検査

徳島大学大学院医歯薬学部研究部耳鼻咽喉科・頭頸部外科学分野、准教授

佐藤 豪

Abstract

温度刺激検査は、末梢性前庭機能を評価できる代表的な平衡機能検査であり、左右の外側半規管の機能を個別に評価することができる。刺激方法には、冷温交互刺激検査、少量注水法およびエアーカロリック検査が行われている。評価方法は、電気眼振計（ENG）やVOG（video-oculogram）を用いて温度眼振を記録し、その最大緩徐相速度を求めて半規管機能を評価する。冷温交互刺激検査は温度刺激検査の国際標準法であるが、本邦では少量注水法も広く行われている。エアーカロリック検査は臨床検査技師も行うことができる。前庭神経炎、両側前庭機能障害および加齢性前庭障害の診断に必要な検査である。Visual suppression test は中枢性前庭機能を評価する方法であり、温度刺激検査の途中で温度眼振に対する固視抑制を行って評価する。

Key Words : 温度刺激検査（caloric test）、半規管麻痺（canal paresis: CP）、エアーカロリック検査（air caloric test）、固視抑制検査（visual suppression test）、両側前庭障害（bilateral vestibulopathy）、加齢性前庭障害（presbyvestibulopathy）

Key Point : 温度刺激検査は、左右の外側半規管と上前庭神経の機能を個別に評価できる代表的な平衡機能検査である。Visual suppression test は中枢性前庭機能を評価する方法である。

はじめに

温度刺激検査 (caloric test、カロリックテスト) は、外耳道へ温水または冷水を注入することで外側半規管に内リンパ流動を引き起こし、それにより解発される眼振を指標として末梢性前庭機能を評価する代表的な検査である 1)。温度刺激検査は耳鼻咽喉科医であった Robert Barany が 1914 年にノーベル生理学・医学賞を受賞した業績の 1 つであり、現在に至るまで末梢性前庭機能を評価する golden standard の国際標準検査である 2)。半規管麻痺 (canal paresis : CP) により、末梢性前庭機能低下と患側を評価する。温度刺激検査は、前庭神経炎、両側前庭機能障害(bilateral vestibulopathy: BPV)および加齢性前庭障害 (presbyvestibulopathy: PVP)の診断に必要な検査である。なお、温度刺激検査は、外側半規管と上前庭神経の機能を反映する検査である点に注意する必要がある。

温度刺激検査の原理

蝸牛機能を評価するためには、刺激として音を用い、左右の耳に音刺激を与えて聴力レベルと患側を調べる。一方、半規管機能を評価するためには、角加速度を左右の耳に別々に与える必要があるが、それは不可能である。温度刺激検査は、外側半規管の一部に温度変化を与えて内リンパ流動を引き起こし、あたかも一側の耳だけを回転させて外側半規管を刺激した状態をシミュレーションする検査である。これにより、左右別に半規管の機能を評価することができる 3)。温度刺激検査は非常に低い周波数領域の前庭動眼反射を評価しているのに対し、温度刺激検査と同じく半規管機能を評価できるビデオヘッドインパルス検査は、高周波数領域の前庭動眼反射を評価している点に注意する必要がある 4)。

外側半規管が垂直位になる頭位において、右外耳道に体温より温度が高い水を注水すると外耳道に一番近い位置にある外側半規管の一部が温められる。温度が上昇した外側半規管の内リンパは比重が小さくなって上昇する。その結果、向膨大部向きの内リンパ流動が引き起こされて外側半規管が興奮し (Ewald の第一法則)、右向きの眼振 (温度眼振) が誘発される (Ewald の第二法則)。体温より温度が低い水を注水すると、反膨大部向きの内リン

パ流動が引き起こされて外側半規管が抑制され、左向きの眼振が誘発される 3, 5) (図 1)。

温度刺激検査の原理から、無重力環境では温度眼振は誘発されないはずである。実際、パラボリック・フライトによる急性の無重力下では温度眼振は消失する。一方、スペースシャトルの宇宙実験室で行われた微小重力環境でのエアーカーリック刺激を用いた温度刺激検査では、温度眼振が誘発されたと報告された 6)。その結果、内リンパの温度による体積変化や有毛細胞及び半規管神経の自発放電の温度による変化なども温度眼振の解発に関与している可能性がある 7, 8)。

温度刺激検査の方法

1. 評価の指標

温度刺激検査の評価の指標には、眼振持続時間と眼振の最大緩徐相速度があるが、眼振の終了時点の判定は困難である。眼振の緩徐相速度が前庭動眼反射を反映することから、現在では ENG (電気眼振計) または VOG (video-oculogram) により、温度眼振の緩徐相速度の最大値を求め、半規管機能を評価する。

2. 頭位

温度刺激検査では、被験者を仰臥位にし、枕をあてて頭部を 30° 前屈させ、外側半規管が垂直位となる頭位を取らせる (図 1)。実際には外側半規管の角度に個人差があるため、検査中、頭部の挙上角度を変化させないようにする必要がある。

3. 刺激方法

温度刺激検査の刺激方法として、冷温交互刺激検査、少量注水法、エアーカーリック検査がある。

1) 冷温交互刺激検査

体温より 7°C 高い 44°C の温水と体温より 7°C 低い 30°C の冷水を左右の耳に交互に注入し、温度眼振を誘発する方法である。ENG による温度眼振の最大緩徐相速度を指標とする場合には、本邦では 50ml の水を 20 秒間で注水する方法と 20ml の水を 10 秒間で注入する方法

が用いられているが、前者の方が再現性がよい1)。

温度眼振の最大緩徐相速度により、以下の Jongkees の式で CP を求める。

Jongkees の式 : $CP(\%) = |(RC + RW) - (LC + LW)| \div (RC + RW + LC + LW) \times 100$

(RC=右耳冷刺激、RW=右耳温刺激、LC=左耳冷刺激、LW=左耳温刺激時のそれぞれの眼振の最大緩徐相速度または持続時間)

CP%が 20%以上を CP と判定する。温度眼振が解発されない場合は、さらに氷水 (5°C以下) 20~50ml を 20~30 秒で外耳道に注入する。それでも温度眼振が解発されない場合、温度刺激検査で無反応と判定する。温度刺激検査での無反応は、外側半規管機能の消失を意味する。温度眼振が微弱な場合、外側半規管機能の高度低下とする 9, 10)。

冷温交互刺激検査は温度刺激検査の国際標準法であるが、計 4 回の注水が一定でないと正しい結果が得られない問題点がある。さらに、合計 4 回の注水刺激を行うために患者の不安も大きい。そのため、本邦では少量注水法が普及している。しかし、冷温交互刺激検査は自発眼振があっても CP を評価できることから、急性期の前庭神経炎の診断には必須である。

2) 少量注水法

20°Cの冷水 5ml で、左右の耳を 1 回ずつ刺激し、温度眼振を誘発する方法である 11)。頭部を 30° 挙上した頭位を保ったままで首を左右に捻転し、外耳道に 20°Cの冷水 5ml を外耳道後壁に向けて 10 秒間で注入し、さらに 10 秒間待ってから首を元の位置に戻す。注水は計 2 回でよいため患者への負担が少なく、刺激が一定で再現性もよいため、本邦では広く行われているが、海外からの報告は少ない 12)。

20°Cの冷水により解発された温度眼振の最大緩徐相速度が 20° /秒以上の場合、正常と判定する。最大緩徐相速度が 10° /秒以上、20° /秒未満の場合、CP 疑いと判定し、10° /秒未満の場合、中等度 CP と判定する。温度眼振が解発されない場合、高度 CP と判定する。さらに氷水 (5°C以下) 20~50ml を 20~30 秒で外耳道に注入しても温度眼振が解発されない場合、温度刺激検査で無反応と判定する。

少量注水法は、温度眼振の最大緩徐相の絶対値で CP を判定する半定量的な検査であることに注意が必要である。また、少量注水法により以下の計算式で CP%を求め、冷温交互刺激検査の CP%の判定基準を用いて CP を判定する報告がある。

$CP (\%) = |R-L| \div (R+L) \times 100$ (R,L はそれぞれ右、左耳刺激時の眼振の最大緩徐相速度または持続時間)

しかし、この CP%の値は自発眼振に影響を受け、また少量注水法の CP%による CP の判定基準は確立されていない点に注意する必要がある 1)。

頭部を 30° 挙上した頭位で自発眼振が認められる場合には、誘発された温度眼振の最大緩徐相速度に、自発眼振の緩徐相速度の平均値を加減する。具体的には、右向き自発眼振が認められる場合には、右耳の冷水刺激で誘発される左向き眼振の最大緩徐相速度に自発眼振の緩徐相速度を加え、左耳の冷水刺激で誘発される右向き眼振の最大緩徐相速度から自発眼振の緩徐相速度を差し引く。なお、自発眼振は変化しやすいため、正確な判定は困難であるため、自発眼振が消失してから再検査することが望ましい。

3) エアーカーリック検査

温風あるいは冷風を外耳道に送風し、温度眼振を解発する方法である。臨床検査技師法には、臨床検査技師が行える生理検査として、「眼振電図検査（ただし冷水若しくは温水、電気又は圧迫による刺激を加えて行うものは除く。）」と記載されていることから、温度刺激検査の注水は医師が行う必要がある。そこで、温度刺激検査を臨床検査技師が行えるように、エアーカーリック装置が開発され、広く用いられている 1)。刺激条件は、冷温交互刺激検査の場合は冷風 26°C以下、温風 46°C以上、流量 6~8 リットル/60 秒、刺激時間 60 秒間である。冷風みの刺激法では冷風 15°C以下で、流量 6~8 リットル/60 秒、刺激時間 60 秒間で外耳道に送風する。少量注水法に相当するエアーカーリック刺激は、冷風 15°C以下で流量 6-8 リットル/60 秒、刺激時間 60 秒間で外耳道に送風する。CP の判定基準は、それぞれ温度刺激検査の冷温交互刺激検査と少量注水法に準ずる。

エアーカーリック検査施行時の注意点は、送風温度が安全な温度内であることに注意す

る。50℃以上では外耳道の熱傷を来す可能性があるため、温度設定と被験者の訴えに注意する必要がある。また、外耳道に耳漏などの水分が付着している場合、温風刺激であっても水分の気化熱で冷風刺激になることがあるので事前に外耳道を確認して必要に応じて清拭を行う。外耳道を閉塞すると外耳道圧が上昇するので、鼓膜や外耳道を損傷しないように注意する。

温度刺激検査施行時の注意点

患者には温度刺激により約 1 分間のめまいが誘発されることを説明しておく。嘔気を生じる場合が時にあることも伝え、嘔吐に備えてビニール袋や膿盆をあらかじめ準備しておく。また、鼓膜に穿孔のある耳に注水する場合には、滅菌水を用いる。患者の覚醒度が低下すると温度眼振が誘発されにくくなるので、検査中は患者に声をかけ、暗算負荷などにより覚醒度を保つ必要がある。左右耳の注水間隔は少なくとも 5 分以上あける 10)。検査が終わっても、患者がベッドから起きる時や立ち上がる時にふらついて転倒する恐れがあるので、注意が必要である。

両側前庭機能障害と加齢性前庭障害の診断

温度刺激検査は、前庭神経炎に加え、両側前庭機能障害や加齢性前庭障害の診断に必須の検査である。両側前庭機能障害は、両側の末梢性前庭機能が消失または高度低下した状態で、頭部の運動や体動時に非回転性めまいや動揺視が誘発される疾患である（表 1）。日本めまい平衡医学会による両側前庭機能障害の診断基準では、氷水（5℃以下）20~50ml を 20~30 秒で両側の外耳道に注入しても温度眼振を認めない、もしくは微弱な場合に両側前庭機能障害と診断する 9)（表 1）。バラニー学会による両側前庭機能障害の診断基準では、左右それぞれの耳において、温水(44℃)刺激と冷水(30℃)刺激の温度眼振反応の最大緩徐相速度がそれぞれ 6° /秒未満と定義している 14)。一方、加齢性前庭障害の診断基準では、60 歳以上の高齢者で、慢性の前庭症状に加えて、姿勢保持障害あるいは不安定感、歩行障害、慢性

の浮動性めまい感、繰り返す転倒のうち、少なくとも 2 つ以上伴う疾患と定義されている (表 2)。また、検査では加齢により軽度の両側前庭機能低下を呈し、温度刺激検査において温水刺激時と冷水刺激時の温度眼振反応の最大緩徐相速度が両耳とも 6° /秒以上、 25° /秒未満と定義されている 14, 15)。

Visual suppression test

1. 目的と原理

ヒトやサルのような高等動物には固視機能があり、平衡系に関与している。前庭性眼振は固視により抑制されることが知られており、その抑制の程度を調べるのが visual suppression test である 10)。視覚情報は視蓋前野・橋被蓋網様核を介して小脳片葉へ伝わる。また、副視索、中心被蓋路、下オリーブ核を介して小脳片葉へと伝わる。小脳片葉はこれらの視覚入力を苔状繊維により受け、顆粒細胞、プルキンエ細胞経由で前庭神経核へ抑制性の出力を送っている 16)。このため、前庭性眼振は固視により抑制される。臨床的には、visual suppression test の異常は小脳と脳幹を含めた後頭蓋窩の病変を意味している。ただし、visual suppression test の異常は、必ずしも画像診断における病変の存在を伴わない。

2. 方法と評価

Visual suppression test は、固視抑制を利用した中枢性前庭機能を評価する方法であり、温度刺激検査の途中で温度眼振に対する固視抑制を行って評価する 1)。前庭性眼振は固視により抑制されることから、温度刺激検査は暗所で開眼または閉眼で検査を行う。温度眼振が刺激後約 1 分で最も強く誘発された直後、部屋を明るくするか遮眼していたゴーグルを取り除き、被験者の眼前 50cm の指標を 10 秒間、固視させ、visual suppression test を行う (図 2)。固視により温度眼振が抑制されると正常である。Visual suppression test 直前 10 秒間の温度眼振の緩徐相速度の平均値を V_a とし、明所固視中 10 秒間の温度眼振の緩徐相速度の平均値を V_b とすると、VS (visual suppression、固視抑制) は以下の式で求める。

$$VS(\%)=(V_a-V_b)\div V_a \times 100$$

VS の正常範囲は $66\pm 11\%$ である。VS が 40%以上を正常、40~10%を減少、10%以下を消失と判定する。VS の減少は小脳片葉と小節の障害で生じる。VS の消失は小脳の広範な障害や橋障害の初期や回復期などで観察される。また橋や下頭頂葉の障害などでは、固視により温度眼振が逆に増強することもある 4)。この場合も VS の異常と判定し、-X%と表記する。

おわりに

温度刺激検査の原理、方法、評価、診断、visual suppression test について解説した。近年、半規管機能を簡便にかつ低侵襲、短時間で評価できるビデオヘッドインパルス検査が広く臨床応用されるようになってきた。しかしながら、温度刺激検査は現在でも国際標準法であり、visual suppression test により中枢性前庭機能を同時に評価できる大きな利点を有している。温度刺激検査は、前庭神経炎、両側前庭機能障害および加齢性前庭障害の診断に必要な検査であり、その原理について十分に理解したうえで正しく検査を行い、正確に評価できるように努めなければならない。

文献

- 1) 日本めまい平衡医学会診断基準化委員会：平衡機能検査の基準化のための資料 III 迷路刺激検査 1. 温度刺激検査 2016 年改定. Equilibrium Res 75: 241-245, 2016.
- 2) Fife TD, Tusa RJ, Furman JM, et al.: Assessment: vestibular testing techniques in adults and children: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. Neurology 55: 1431-1441, 2000.
アメリカ神経科学会の平衡機能検査の資料。
- 3) 武田憲昭、佐藤 豪：温度眼振検査. MB ENT 141: 45-49, 2012.
- 4) 肥塚 泉：温度刺激検査. Equilibrium Res 78: 288-294, 2019.

- 5) 今井貴夫：温度刺激検査. *Equilibrium Res* 80: 1-9, 2021.
- 6) Scherer H, Brandt U, Clarke A, et al.: European vestibular experiments on the Spacelab-1 mission: 3. Caloric nystagmus in microgravity. *Exp Brain Res* 64: 255-263, 1986.
- 7) Harada Y, Ariki T: A new theory for thermal influences on endolymphatic flow. *Arch Otorhinolaryngol* 242: 13-17, 1985.
- 8) Arai Y, Yakushin S, Cohen B, et al.: Spatial orientation of caloric nystagmus in semicircular canal-plugged monkeys. *J Neurophysiol* 88: 914-928, 2002.
- 9) 日本めまい平衡医学会診断基準化委員会：めまいの診断基準化のための資料 診断基準 2017年改定. *Equilibrium Res* 80: 233-241, 2017.
- 10) 日本めまい平衡医学会 編：IV迷路刺激検査 1. 温度刺激検査. 「イラスト」めまいの検査. 改訂第3版. 48-51, 診断と治療社, 2018.
- 11) 緑川周子、高橋正紘、辻田直美、他：少量注水法による冷水刺激検査. *日耳鼻* 87: 1111-1119, 1984.
少量注水法による冷水刺激検査に関する原著論文。
- 12) 日本めまい平衡医学会診断基準化委員会：温度刺激検査（カロリックテスト）に関するアンケート調査. *Equilibrium Res* 74: 126-133, 2015.
- 13) Strupp M, Kim JS, Murofushi T, et al.: Bilateral vestibulopathy: Diagnostic criteria Consensus document of the Classification Committee of the Barany Society. *J Vestib Res* 27: 177-189, 2017.
バラニー学会による両側前庭機能障害の診断基準。
- 14) Agrawal Y, van de Berg R, Wuyts F, et al.: Presbyvestibulopathy: Diagnostic criteria Consensus document of the Classification Committee of the Barany Society. *J Vestib Res* 29: 161-170, 2019.
バラニー学会による加齢性前庭障害の診断基準。

15) 日本めまい平衡医学会診断基準化委員会：加齢性前庭障害(Presbyvestibulopathy)の診断基準. *Equilibrium Res* 80: 258-260, 2021.

16) 平野丈夫：前庭動眼反射と視運動性眼球運動の適応への小脳シナプス可塑性の関与. *Equilibrium Res* 70: 104-109, 2011.

表 1 両側前庭機能障害 (bilateral vestibulopathy)の診断基準

A.症状

1. 頭部の運動や体動時に非回転性めまいや動揺視が誘発される。閉眼などにより視覚が遮断されると身体のふらつきが増強する。
2. めまいと関連する中枢神経症状を認めない。

B.検査所見

1. 温度刺激検査により両側の末梢前庭機能（半規管機能）の消失または高度低下を認める。[注] 氷水（5℃以下）20~5-0ml を 20~30 秒で外耳道に注入しても温度眼振を認めない場合を「消失」、温度眼振が微弱な場合を「高度低下」。
2. 両側前庭機能障害と類似のめまい症状を呈する内耳・後迷路性疾患、小脳、脳幹を中心とした中枢性疾患など、原因既知の疾患を除外できる。

診断

- A.症状の 2 項目を満たし、B.検査所見の 2 項目を満たしたもの。

表 2 加齢性前庭障害 (Presbyvestibulopathy)の診断基準

A.前庭症状が慢性に持続し (少なくとも 3 カ月)、下記症状のうち少なくとも 2 つを伴う。

1. 姿勢保持障害あるいは不安定感
2. 歩行障害
3. 慢性の浮動性めまい感
4. 繰り返す転倒

B.下記の検査のうち少なくとも 1 つの検査で軽度の両側前庭機能低下を示す。

1. ビデオヘッドインパルス検査 (video head impulse test, vHIT)

VOR の利得が両耳とも 0.6 以上、0.8 未満

2. 回転椅子による正弦波回転刺激検査

VOR の利得が 0.1 以上、0.3 未満 (回転周波数 0.1Hz、最大角速度 50~60° /sec)

3. 温度刺激検査

冷水刺激時と温水刺激時の最大緩徐相速度が両耳とも 6° /sec 以上、25° /sec 未満

C.60 歳以上である。

D.症状は他の疾患や病態ではうまく説明できない。

診断

A~D の 4 つの基準全てを満たす必要がある。

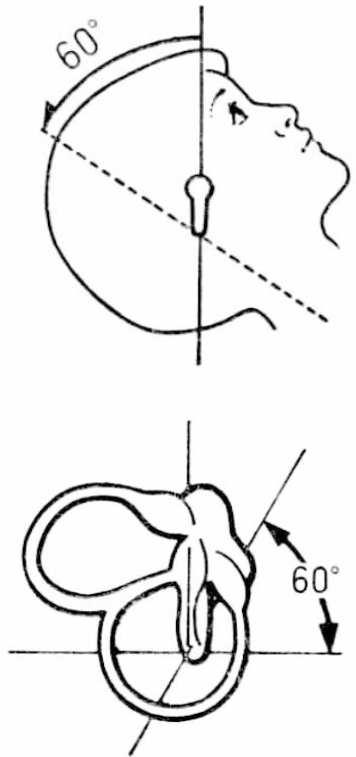
図の説明

図 1：温度刺激検査における患者の頭位と原理

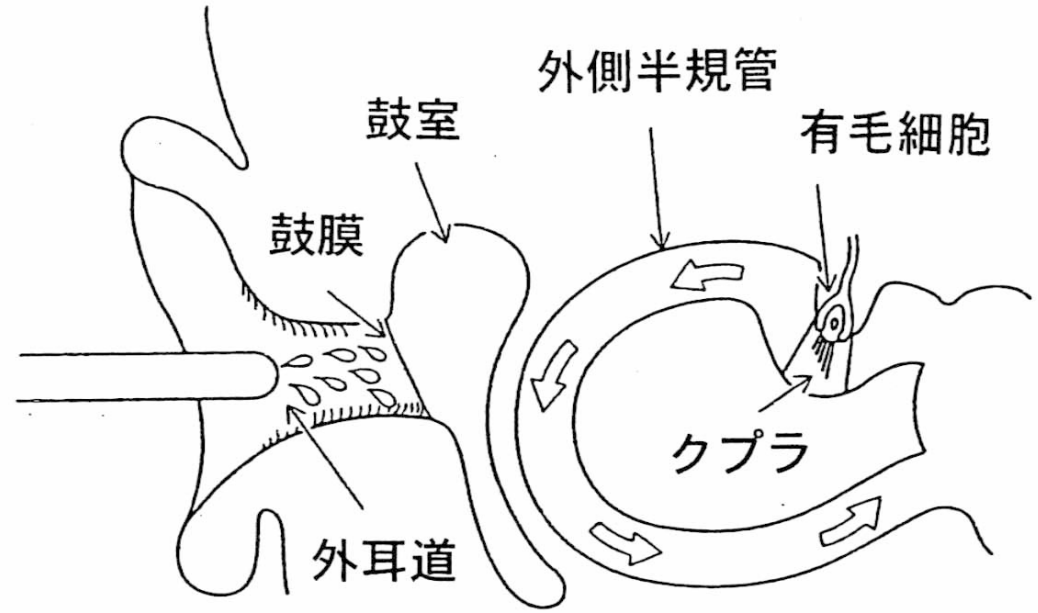
臥位で頭部を 30° 挙上し、外側半規管が垂直位になる頭位を取らせる。右外耳道に冷水を注水すると、外側半規管に反膨大部向きの内リンパ流動が生じ、外側半規管が抑制される。文献 3) より引用。

図 2: 温度刺激検査中に行う visual suppression test。

冷温交互刺激検査で温度刺激検査を行った場合の右耳の冷水刺激時の ENG の水平誘導記録。文献 3) より引用。



右耳の冷水刺激



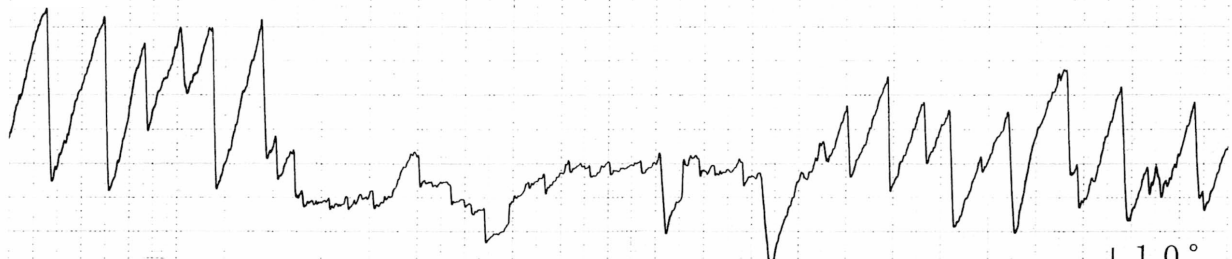
暗所開眼

明所固視

暗所開眼

眼球運動

右



左

10°
1秒

電気眼振計 (ENG)

