IKAI, M., YAMAKAWA, J., Studies on Breath-Holding (2) Electrocardiographic and Electromyographic Studies.

息こらえに関する研究 (2) 心電圖及び筋電圖学的研究

東京大学 猪飼 道夫
お茶の水女子大学 山川 純子

息こらえができなくなる原因の主なもの
は血中酸素の欠乏と炭酸ガスの蓄積であり、
息こらえ時間を左右するものはこの事態に対す
る呼吸循環系の適応力と苦しさに堪えるという
精神的要素とであるとされている (6)。

息こらえ時間の大小は、数十年来疾病の診
断、予後の判定をはじめ、健康人の体力判定、
航空塔乗員の適性等に用いられ、その価値を認
められているが、また一面においては一般運動
適性との相関の低さや検査成績の信頼度の点か
らその価値が批判されている (17)。持久力の
検査としては静止時の息こらえよりも運動後の
息こらえの方が価値が高いという報告 (11) も
あり、この検査の生理学的意義及び活用法を明
らかにすることによりその利用価値を高めるこ
とができると思われる。すでに日本体育学会身
体適性班では運動後 (1分間その場駐足後) の
息こらえを採用しているので、これが静止時の
息こらえと比較してどのような特色を持つもの
であるかということを明らかにするために、本
研究を行った。第一報において石河等が息こら
え時間及び肺胞ガスについて検討したことにつ
づき、ここでは主として心電図及び筋電図学的
方法を用い、息こらえ中の心臓の活動及び胸廓
と腹部の筋の活動様式を観察した。

1. 息こらえの心電図学的研究

息こらえにより循環系が変化することについ

ては、さきに病態における研究があり、息こら
え時間の短いことが心臓機能の障害されている
場合に認められることが報告されている (17)。

また 40 mm 水銀柱の呼気圧を持続せしめる
Flack test において血圧、脈搏の変動の小さい
者を適性大なるものとする説もある (7)。静
止時の息こらえについては長谷川 (8) は血圧
脈搏及び心電図について観察し、息こらえ中、
血圧心電図は被検者に共通した一定の変動を示
すが、心搏においては個人による変動の差異が
著しいことを述べた。息こらえ中の循環系の変
動の原因は、胸腔内圧、腹腔内圧及び肺容積の
変化による心臓還流量及び搏出量の変化である
とする説が多い (9, 19)。著者等はこれらの諸
研究を参照して、心搏及び心電図を観察した。

(1) 心搏間隔の変動

脈搏の変動を精細に追求するには心電図また
は Cardiotachogram によることが便利である。
長時間に亘る観察には、後者による方が便利で
ある。Cardiotachogram に関しては松田 (14)
にならった。長谷川 (8) は静止時の息こらえ
について心搏間隔変動を多くの被検者について
しらべ、変動の型は4種に分類しうることを述
べた。

著者等は心搏間隔変動図すなわち Cardio-
tachogram の記録のために、直径 2cm の銀板電
極 2 個を胸部に電気糊で固定し、これを増幅

第1図 息こらえ中の心搏間隔変動の→
形。Cardiotachogramの縦軸は心搏間隔
を示す。上部の曲線は胸廓の運動を示し、
曲線の下向きの動きは胸廓の拡張を意味
する。

器, thyatron 発振装置を介して, 心電
図のRR間隔が縦線の長さとなるよう
にし, 電磁オシログラフ記録紙上に導
いた。同時に胸廓の運動をタンブールに
より同一記録紙上に導いた。得られた図
において縦線の短いことは速脈を示す。
脈搏とは心臓搏出による圧変動を動脈に
おいて触れて数えられるものであるか
ら, 心電図R棘を数えることと同一であ
る。しかし心搏間隔は搏動毎に変化する
ものであるから細部の観察には心搏間隔
変動図を用いることが適当である。

(2) 静止時の息こらえ

被検者は立位2分間の後, 右手で鼻を
つまんで息こらえを行う。被検者には男
女約50名を用いた。息こらえ中の心搏間
隔変動には, 個人差があり, これを第1
図に示す如き5種の型に分類することが
できる。図の上から順にA, B, C, D
及びE型となづけた。一般に吸いこみの
初期には心搏間隔は短縮するが, 吸いこ
みが終って息をとめる頃から急激に延長
するもの(A型), 吸いこみを終って息
をとめているうちに次第に延長するもの
(B型)及び, 息こらえの終りになるに
つれて延長の著明なもの(C型)等が見
られる。息こらえの終りに近づき, 胸廓が
不規則に運動し, 苦しさに堪えている時
期には心搏間隔は不規則に変動を示す。
これ以外に少数ではあるが, 息こらえ
中, 心搏間隔の延長しているもの(D型)
及び初期と終りにだけ延長するもの(E
型)とがある。長谷川(8)の分類によ
ると恒常型, 短縮型, 延長型及び動揺型

の4種であるが、恒常型はB型、短縮型はA型、延長型はC型と同種類のものであり考えられる。これらの型は同一人において時をかせて反復実施したときにも再現性のあるものであり、個人の特色を示すものと考えられるが、特に一卵性双生児(10)において対差の小さいことはこの分類に有意性を与えるものと思われる。

このような心搏間隔変動の型の個人差が循環系、とくに心臓の反応性の個人差を如何にあらわすものであるかは明らかでないが、同一被検者が故意に、空気の吸いこみの速度、胸腔内圧のかけ方を変える場合にこの型に多少の変化を来すことから、型の個人差は心臓の反応性と息こらえの行い方との両者の複合されたものを示すと考えられる。

息こらえの終りに近く、胸廓運動曲線に細かな不規則な変動が現われることを述べたが、これは無意識のものであり、半ば強迫的にあらわれる。これをここでは胸腔内呼吸(運動)とよぶ。被検者が馴れないうちは反復実施により息こらえ時間が著明に延長するが、このときの延長の主要な部分を占めるものは、胸腔内呼吸の時期の延長であるといえることができる。これはいわゆる「がんばり」の時期に相当する。

(3) 運動後の息こらえ

被検者は立位2分間の後、合図によりその場駐足を1分間行い、直後一度息をはき出してから息をすいこんで、できるだけ長く息をとめ、息こらえが終了した後2分間立位を保持する。被検者は20～23才の男女15名である。得られた記録の3例を第2、3、4図に示す。運動後の息こらえの心搏間隔変動がいかなる特性を持つものであるかを明らかにするために、同じ時期に静止時の息こらえ及び息こらえを行わ

ないで1分間その場駐足のときの記録をもとった。第2—4図にこれらをもあわせ示した。

運動後の息こらえでは、運動により心搏間隔が著しく短縮し(すなわち速脈を示し)、心臓促進の状態となり、息こらえによる心搏間隔変動の典型的なものを示さない。しかし運動後の回復の速い被検者または息こらえ時間の長い被検者では、典型的な変化が現われる。すなわち第2図に示すものは静止時の息こらえではA型であるが、運動後の息こらえ時間が短く心搏間隔の典型的な変化は見られない。この例では運動後の心搏間隔の回復がおそい。第3図はB型であり、運動後の息こらえでは典型的B型変動を示す。この例では運動後の心搏間隔の回復はすみやかである。第4図はC型であり、運動後の息こらえでも定型的C型変動を示す。この例

第2図 運動後の息こらえの際の心搏間隔の変動。

図の上段は静止時息こらえ、中段は運動後の息こらえ、下段は1分間その場駐足のときのCardiotachogramである。各図の上部の曲線は胸廓運動曲線。(被検者TA)

第3図 運動後の息こらえの際の心搏間隔の変動(被検者KO)

では、運動後の心搏間隔の回復はすみやかである。

静止時の息こらえ時間に比べて運動後の息こらえ時間は著しく短縮することが通例であるが、この両者の相関は男子0.60、女子0.46(石河等)であり、余り高いものではない。

そこには運動負荷というものがその後の息こらえ時間に相当にひびき、運動からの回復の良否が本来の息こらえ能力に加味されてあらわれてくるものであろう。この意味において運動後の息こらえ検査は、静止時の息こらえ検査に比し特殊の意義を持つものである。Karpovich, P.V. (11) が運動適性として運動後の息こらえの有意性を、持久運動との相関において取上げていることは理解されると

ころである。心搏間隔変動図からこれらの検査の有意性を立ち入って論ずることはできないが運動による心臓促進が著しく、回復のおそい被検者では、息こらえによる心搏間隔変動の定型的な様式が現われるに到らずに息こらえが破綻を来すことが見られる。

(4) 心電図の観察

息こらえにおける心搏間隔の変動は上述の如くであるが、これが心臓収縮期によるものか、弛緩期によるものかを明らかにするために心電図を用いて分析した。また息こらえは心搏間隔以外に心電図そのものにも変化を与えることが予想され、またこれに関する報告(8)もあるので、この点に関する観察も行い、その機転についても

第4図 運動後の息こらえの際の心搏間隔の変動(被検者NA)

考察した。心電図の記録には主として第二誘導により電磁オシログラフを用いて記録した。

(5) 心電図による心搏間隔変動の分析

静止時の息こらえによってRR間隔が延長するときも短縮しているときもPQ間隔、QT間隔、PT間隔には著しい変動は認められない。PQ間隔は房室伝導時間、QT間隔は心室収縮時間、PTは心臓収縮期間を示すものであるから、心搏間隔(RR間隔)の息こらえによる変動は収縮期の変動によるものではなく、弛緩期の変動に起因するものである。このことはすで

に認められているところであり(8)心臓刺激発生部位におけるリズムの変化によるものとされている。著者等の得た成績を第5図に示す。

これに対して、運動後の息こらえでは運動後の心臓促進による心搏間隔の短縮は、QT間隔の著明な短縮を伴うがPQ間隔の短縮はわずかであり、心室収縮期の短縮を示す。またTP間隔の短縮も認められるから弛緩期も短縮する。この状態で息こらえを行うとき明らかに息こらえの影響のあらわれた例について、これらの関係を見ると第6図のようである。すなわち、運動の終了直後では息こらえの影響は著明でない

第5図 静止時息こらえの心電図各波の相互関係

縦軸は時間間隔、横軸は時間経過を示す。T波消失については第8図参照。

第6図 運動後の息こらえの心電図各波の相互関係

第7図 運動後（1分間その場駐足後）の心電図各波の相互関係

が、中期以後において心搏間隔（RR間隔）が延長する。このときPQはわずかに短縮し、QTはわずかに延長し、従ってPT間隔には殆んど変動がない。息こらえ終了直後は、心搏間隔（RR）は急激に短縮しているが、PQはわずかに延長し、QTはわずかに短縮してPT間隔は殆んど変化しない。これによると運動後の息こらえにおいても心搏間隔への息こらえの影響は主として弛緩期の間隔の変動であり、収縮期の間隔に対してではないことが知られる。しかしこれを第7図の運動後の心搏間隔の回復状態と比較すると、息こらえをした場合の方がRR間隔においてもQT間隔においてもその回復がすみやかである。

(6) 心電図の波形の変化

息こらえの初期乃至中期にかけてT波が低くなり、時には消失するが、中期以後に胸腔内呼吸運動が開始される時期にT波が再現することが認められる。これを第8図に示す。このこともすでに認められていることであるが（8）これに対する機転が明らかでないので、更に次の実験を行った。以上の所見は立位についてのものであるが、立位の他に坐位、臥位及び倒立位で息こらえを行い、このときの心電図を記録した。その結果、立位、坐位では息こらえによりT波の著しい低下または消失が認められるが臥

位及び倒立位での息こらえではT波の低下は殆んど認められないことが知られた。また運動後の息こらえ及び Adrenaline 注射後の息こらえではT波の低下は静止時の息こらえの時に比し

第8図 息こらえによる心電図T波の変化。

写真の上から安静立位（A），中は息こらえによるT波の消失（B），下は胸腔内呼吸時のT波の再現を示す（C）。

て著しくない。これらの結果から、心臓への血液還流量が増加した状態では息こらえによるT波の低下が著しくないことが知られる。

心電図の変化とくにT波の変化に関しては諸説多く、にわかにその機転を明らかにすることはできないが、T波の消失又は低下は従来迷走神経興奮、心筋機能低下及び心冠状動脈の虚血等に関係するといわれる外、搏出量とも関係するともいわれる。T波の低下又は逆転は心室の貧血、酸素欠乏(5)により、また冠状循環の不良な人では一定の運動後にもおこる(2)ともいう。これらのことから心臓への血液の供給が少いときにT波の変化がおこることが推定される。息こらえによって循環の変化とくに血液の配分が変化することが知られている。

すなわち、Laurens, H. (12), Hill, L. 及び M. Flack (9), Douglas, C. G. 及び J. S. Haldane (3, 4) は呼吸を止めるときに血流が妨げられることを述べ、Mills, J. N. (16) は胸腔内圧を高めることが心臓還流量を減少せしめることを述べた。これに反し呼吸運動は循環を促進するとされ Woodbury, R. A. 等 (19) は正常呼吸における胸腔内圧の低下、腹腔内圧の上昇は右心室内圧を高めるといふ。動物を長時間頭部を上にして吊り下げた位におくときは、心臓還流量が減少するが、このとき行う深呼吸は還流量を増加せしめる。

これらの諸事実を著者等の得た成績と考え合わせると、息こらえによっては心臓還流量が減少を来し、これが搏出量及び冠状循環量をも減少せしめて心電図の変化を生ぜしめたものと思われる。胸腔内呼吸運動によって、T波の出現することには胸腔内圧の変動が循環の促進に大いに与っていることと考えられる。しかしこの場合に、血液のpHの変化(13)、心臓神経の興奮状態及び心臓の位置等の要素を度外視することはできない。

息こらえ中の動脈血圧の変動は一般に共通しており、初期に低下し、次第に増加し、安静時

の値より大となる。

2. 息こらえの筋電図学的研究

息こらえでは正常呼吸運動は停止しているが、このとき呼吸筋は活動を停止しているか、それとも別の様式の活動をしているかをたしめるために、胸廓及び腹部の筋の活動状態を筋電図を用いて検索した。

安静呼吸、深呼吸については時実等(18)の研究があり、安静呼吸では17種の筋が吸気時に、10種の筋が呼気時に働らき、深呼吸では、20種の筋が吸気時に、12種の筋が呼気時に働くとされている。Mills, J. N. (15) は最大吸気及び最大呼気時の呼吸筋の働らき方を筋電図にて分析し、Campbell, E. J. M. (1) は、呼吸における腹筋の役割を、筋電図を用いて研究した。息こらえは以上の諸研究の場合と異り、本来呼吸運動を停止しているものであるので異った結果となるのは当然であろう。

筋電図の記録には鍼針電極を誘出電極として目的とする筋内に挿入し、無関電極として、直径約1cmの銀板を電気糊でこれに近接した皮膚面に固定し、増幅器を介して電磁オシログラフに導いた。同時に胸廓の運動と腹部の拡張、収縮とをタンプールに導き、筋電図と同一紙面に記録した。検索の対象とした筋は僧帽筋、三角筋、大胸筋、外肋間筋、内肋間筋(骨間部)、腹直筋及び腹斜筋である。横隔膜についての観察が必要であるが、ここでは行うことができなかった。

筋電図における神経衝撃の出現は筋の活動を意味するが、その活動が能動的のものであるか、自己受容性反射的のものであるかを明らかに区別することは困難である。但し神経衝撃の射出が明らかに運動曲線に先行する場合は、その筋の活動が能動的なものであり、これに反する場合は自己受容性反射的のものであることが知られる。

(1) 息こらえの経過に伴う筋電図の変化

息こらえを始める前の安静時呼吸では、従来の所見の如く外肋間筋の放電が吸気運動に先行して現われ、内肋間筋の放電が呼気運動に先行してあらわれる。息こらえを始めるに当り、深い吸気運動を行うが、このとき吸気運動に先行して外肋間筋、僧帽筋及び大胸筋に著明な放電があらわれ、吸気運動の完了するまで続く。吸気運動が完了する頃から三角筋、内肋間筋、腹直筋及び腹斜筋に放電があらわれる。吸いこみを終って、息をこらえている時期にはいと、筋の放電は一般に減少し、外肋間筋及び大胸筋に緊張性衝撃と思われる放電が持続する。時間の経過に伴い、苦しさの感じが生ずる頃から上記、外肋間筋及び大胸筋の持続性放電はその頻度を増すと共に、腹直筋、腹斜筋及び内肋間筋に持続的の放電があらわれてくる。

その後、苦しさの感じと共に胸廓の不規則な運動があらわれる。これは Cardiotachogram 記録図の胸廓運動曲線において認められたものであり、自覚的にも明らかに知ることができるものである。胸廓の不規則な運動は、腹壁の運動と相対応し、胸廓の拡大は腹壁の陥入と一致し、胸廓の縮小は腹壁の膨出と一致する。この運動を胸腔内呼吸と称することはさきに述べた。胸腔内呼吸のとき上記諸筋の持続的放電は胸廓乃至腹部の運動により変容を来す。とくに外肋間筋、内肋間筋、大胸筋、腹直筋及び腹斜筋の間には一定の関係があり、外肋間筋、大胸筋の放電は、胸廓の縮小（腹部の拡張）時に増大し、胸廓の拡張（腹部の縮小）時に減少し、内肋間筋、腹直筋、腹斜筋の放電はこれと逆に、胸廓の縮小（腹部の拡張）時に減少し、胸廓の拡張（腹部の縮小）時に増大する。ここに見られる内外肋間筋の活動様式は安静正常呼吸のときの筋電図の様式とは全く逆であり、後に述べることにより理解することができる。

息こらえを終了した後は、筋の放電は一般に

減少するが、内外肋間筋、大胸筋及び腹直筋には呼吸運動に同期した放電を見る。また僧帽筋には緊張性放電が見られる。これは息こらえ後の呼吸促進によると思われる。以上の諸筋の放電様式を第9図に模式図として示す。

第9図 息こらえ中の筋電図模式図

(2) 胸腔内呼吸の筋電図の解釈

胸腔内呼吸の期間の筋電図から知られるように、外肋間筋と大胸筋の放電は、内肋間筋、腹直筋、腹斜筋の放電に拮抗的であり、しかも前二者は胸廓の縮小時に、後三者は胸廓の拡張時に放電を増すことが認められた。正常呼吸では外肋間筋は吸気時（胸廓拡張時）に、内肋間筋は呼気時（胸廓縮小時）に働くことから見るとその放電様式は全くその逆である。この現象の解釈として腹筋の働きが主働的なものと考えることによって理解することができる。すなわち腹直筋が収縮して腹圧を高め、二次的に胸腔内圧が高まって、胸廓を拡張し、外肋間筋はその活動を休止して内圧による胸廓の拡張にゆだねることができる。腹直筋が弛緩して腹圧が低下し、胸腔の内圧が低まれば胸廓は縮小を強い

第 10 図 胸腔内呼吸における腹直筋と外肋間筋の筋電図。

上の写真は腹直筋、下は外肋間筋の筋電図、曲線Aは腹部、Cは胸部の運動を示し、曲線の下向きは拡張を示す。

られるので、外肋間筋は反射的に活動して胸廓の拡張を維持しようとする。内肋間筋についてはこれと逆の場合を考えることにより理解できる。外肋間筋と腹直筋の活動様式を更に第10図に示す。

また腹直筋の収縮により腹圧が高まると同時に胸廓の筋は呼気の態勢をとり、内肋間筋が緊張して外肋間筋は弛緩し、腹直筋が弛緩することにより腹圧が低まると同時に吸気の態勢となり、外肋間筋が緊張して内肋間筋が弛緩するのであるが、声門を閉しているので胸廓は呼吸運動をすることができず、外見上は呼吸筋の神経支配が逆転するよう見えると考えることもできる。

総 括

日本体育学会適性研究班にて運動後の息こら

えを身体適性検査の一項目としてとりあげているにかんがみ、この検査の成績を支配する因子を分析する目的で、心電図及び筋電図学的研究を実施し、次の事実を認めた。

- ① 静止時息こらえの心搏間隔変動をCardio-tachogramによって観察すると、個人に特有な変動様式(型)が認められる。このときの心搏間隔変動の主因は心臓弛緩期の変動である。
- ② 運動後の息こらえの成績には、本来の息こらえ能力以外に運動後の回復能力が大きく関係するので、運動後の息こらえは、運動適性検査として有意義である。
- ③ 息こらえによる心電図T波の変化は心臓への血液配分の変化によると考えられる。これが胸腔内呼吸によって回復することは胸腔内呼吸が循環調節機構としてはたらく

ことの可能性を考えさせる。

- ④ 胸腔内呼吸中の胸廓及び腹筋の筋電図を観察した結果、腹部の縮小、胸廓の拡張時に腹直筋の放電が増大し、外肋間筋の放電の減少、内肋間筋の放電の増大を見、腹部の拡張、胸廓の縮小時にはこれと逆の現象を見た。この放電の様式は正常呼吸のときの肋間筋の放電様式と矛盾するもののようであるが、腹直筋の活動を主働的のものと、肋間筋の活動を他働的乃至反射的のものと考えることによって理解することができる。

(本研究は昭和28年度科学試験研究費補助金によるものである。)

文 献

- (1) Campbell, E. J. M. (1952) An electromyographic study of the role of the abdominal muscles in breathing. *J. Physiol.* 117, 222—233.
- (2) Craig, L. T. (1945) Exercise. *Ann. Rev. Physiol.* 7, 599—622.
- (3) Douglas, C. G., J. S. Haldane (1909) The regulation of maximal breathing. *J. Physiol.* 38, 420—440.
- (4) —, — (1909) The causes of periodic or Cheyne-Stokes breathing. *J. Physiol.* 38, 401—419.
- (5) Essex, H. E. (1945) Heart. *Ann. Rev. Physiol.* 7, 405—426.
- (6) Evans, C. L. (1952). *Principles of Human Physiology*, 11ed. p. 775, London, Churchill.
- (7) Flack, M., H. L. Burton, (1922) An investigation into the physiological significance of the "40mm. mercury test". *J. Physiol.* 56, 50—52.
- (8) 長谷川友也 (1950) いきこらえの研究 (5) いきこらえによる血圧、心搏週期及びその変化に就て。新潟医学会誌 64, 77—87.
- (9) Hill, L., M. Flack (1908) The effect of excess of carbon dioxide and of want of oxygen upon the respiration and circulation. *J. Physiol.* 37, 77—111.
- (10) 猪飼道夫, 山川純子 (1953) 息こらえによる心搏リズム変動の個人差。体力科学, 3, 86—87.
- (11) Karpovich, P. V. (1947) Breath-Holding as a test of physical endurance. *Am. J. Physiol.* 149, 720—723.
- (12) Laurens. H. (1918) The effect of holding the breath and of rebreathing on the rise of CO₂ tension in the lungs, and the determination of the CO₂ tension of the "venous pulmonary air." *Am. J. Physiol.* 46, 147—164.
- (13) Mac Donald, F. M., E. Simonson (1953) Human electrocardiogram during and after inhalation of thirty per cent carbon dioxide. *J. Applied Physiol.* 6, 304—310.
- (14) 松田 幸次郎 (1948) Cardiotachograph. *Yohoku J. exp. Med.* 49, 246.
- (15) Mills, J. N. (1950) The nature of the limitation of maximal inspiratory and expiratory efforts. *J. Physiol.* 111, 376—381.
- (16) — (1950) The pressures developed in abdomen and thorax during the Flack test. *J. Physiol.* 111, 368—375.
- (17) Montoye, H. J. (1951) Breath-Holding as a measure of physical fitness. *Research Quart.* 22, 356—376.
- (18) 時実利彦, 川俣健二, 時実博 (1952) Electromyographic studies on the human respiratory muscles. *Jap. J. Physiol.* 2, 232—247.
- (19) Woodbury, R. A., B. E. Abreu (1944) Influence of dying gasps, yawns and sighs on blood pressure and blood flow. *Am. J. Physiol.* 142, 721—726.