

心拍数からみたテニス選手の運動負荷強度に関する研究(第1報) : ダブルスの試合の特徴について

著者	田村 義男, 渡辺 直吉, 室 増男
出版者	法政大学体育研究センター
雑誌名	法政大学体育研究センター紀要
巻	8
ページ	19-26
発行年	1990-03-24
URL	http://doi.org/10.15002/00007621

心拍数からみたテニス選手の運動負荷強度に関する研究
ダブルスの試合の特徴について—第1報—

田村 義男 (法政大学)
渡辺 直吉 (法政大学)
室 増男 (東京薬科大学)

Characteristics of Responses on Heart Rate During Doubles
Game of Tennis in College's of Regular Player
Yoshio TAMURA, Naokichi WATANABE, Masuo MURO

Abstract

We tested the hypothesis that doubles game of tennis in college's player causes greater response of defferent stress,exercise and mental stress,than does recreational tennis game. During all doubles games,heart rate(HR)was measured,and after a match,blood samples were taken from a elbow vein of racket support side(ipsilateral)and later analyzed for plasma activities of total lactate dehydrogenase(LDH)and creatine phosphokinase(CK), concentrations of norepinephrine(PNE)and lactate(LA). A match mean HR was $129 \pm 19(x \pm SD)$ and $118 \pm 19(x \pm SD)$ for the victorious and opponent team,respectively. The HR of teammate was $141 \pm 15(x \pm SD)$ and $117 \pm 15(x \pm SD)$ for the victorious heardhit and opponent players,that was $127 \pm 18(x \pm SD)$ and $110 \pm 17(x \pm SD)$ for the defeated heardhit and opponent players, respectively. On the other hand,HR,pattern of teammate in doubles game was showed regular changes as inversion of phase in fore-and back-side player with moving together as a team. Particularly,the pattern of victorious teammate showed markedly regular inversion of phase than defeated teammate. However,heardhit player's PNE and LA concentrations were significantly($P < 0.05$)less than normal players. Player's LDH and CK activities were increased significantly($P < 0.05$)for normal players after doubles game. We suggest that both elevated mean HR during game and PNE consentration are influenced by exercise and mental stress as anticipatory heart rate response resulting from doubles game.

緒言

テニスの試合は、高い運動負荷強度で間欠的継続時間の長いスポーツ種目の一つである。それ故に高い体力が要求される競技である。しかしその試合における運動負荷強度は、選手の体力・技術・戦術などの他、緊張すなわち、精神力・集中力と言った心理的要素により左右される^{8) 13) 19) 20)}特徴がある。特にダブルスでは、その要素以外にパートナーとの連携、相手ペアの技術的力量さらにはコンビネーションなどが加わるため一層複雑な要因が生体の負荷として相乗される^{1) 2)}。

そのために試合中の運動負荷強度を正確に知ることは非常に困難になっている。すなわち、直接 Vo^2 の測定が技術的に困難な状況と重合していることによる。しかし、運動負荷強度は酸素摂取量(Vo^2)に対してその物理的仕事量と正比例するので、最も妥当性のある指標とされている¹⁷⁾。その Vo^2 はHR、心拍出量(Q)、換気量(VE)と直接関係にあることから、^{3) 17)}テニスにおける試合の運動負荷強度を知るには、HRによる推定が有効な手段となっている。

しかしスポーツの特徴やその試合場面の内容によって、運動負荷強度とHRとは必ずしも一致しない場合がある^{8) 14)}。その現象は選手の物理的仕事量に必要なエネルギー的要因とは無関係な要素すなわち心理的ストレスと考えられている。特にダブルスの試合はパートナーのコンビネーションを意識した集中力などの心理的ストレス要因が負荷されている可能性^{8) 13)}がある。したがってテニス試合中におけるHRの変化を基にして、運動負荷強度を論議している報告が多くみられるが、種目的特徴を十分考慮する必要がある¹⁴⁾。

そこで、ダブルスにおける心理的要素を考慮した運動負荷強度について、HRと血漿カテコールアミン、乳酸、乳酸脱水素酵素、クレアチンフォスホキナーゼなどから検討するものである。

対象及び方法

対象： 某大学硬式庭球部男子選手4名(19~23,平均20.5歳)。被験者(テニス選手)の選択基準は、1. 大学対抗レギュラー選手である。2. 心電図に異常の無い者。3. 一般血液生化学検査に異常所見が無い者とした。

方法： 実験日はテニス選手が最もトレーニングされている7月の時期を選んで実施した。実施場所としてのテニスコート条件はオールウエザー(ケミカル)コートであった。

被験者をテニスコート・サイドの椅子に椅座位させ、テニスラケット把持側の肘静脈から安静時の採血(6ml)を行うとともに循環諸量を測定した。すなわち、心電図の胸部誘導(V5)より心拍数(heart rate,HR)を、カフ法で血圧をそれぞれ測定した。

ついで以下のプロトコルでテニス試合を実施させた。試合は限定60分間とし、この制限時間内で1ゲームずつを正式な進行ルールに従って実施させた。ただし、試合の流れと遅延を防ぐことに重点をおき、ポイント間の30秒及びエンド交代90秒の制限をつけずに進行させる形式をとった。ちなみにボールチェンジは6ゲーム終了毎に行った。

心拍数からみたテニス選手の運動負荷強度に関する研究

プレイヤーの試合中の HR は軽量小型記録器（フクダ電子 HM-10）を腰背部に装着して導出した。また、プレイヤーの行動分析を正確に行うために、制限時間内のプレイヤーの動作をビデオテープ記録器（VTR）に記録し、同時に試合中の 1 ゲーム毎に要した時間とプレイヤーのすべての行動を詳細に行動記録シートに記録した。この行動記録シートと VTR とを対応させ、心拍数の反応に対応させるのに用いた。

試合中は HR を連続記録し、試合終了後 30 分間は椅座位による安静を保たせ、試合中と同様な測定を行った。採血は試合終了直後と 30 分後の時点で行った。

血液は凝固阻止剤を含まない試験管と EDTA・2 Na を含む試験管に採取した。後者の血液サンプルは採取後、4℃で冷却遠心分離しその血漿を生化学的分析時まで-80℃に保存した。そして、血中ホルモンの中で血漿カテコールアミン（ノルエピネフリンとエピネフリン）を測定した。他に乳酸（LA）、乳酸脱水素酵素（LDH）、クレアチンフォスホキナーゼ（CK）などを測定した。

Athlete Men : PROFILE

SUB	AGE	HEIGHT	WEIGHT	WEIGHT HEART RATE (resting)	GRIP STRENGTH (right)	CAREER
H.H.	19Yrs	181cm	68Kg	56b/min	60Kg	3Yrs
K.S.	19	177	75	56	58	6
H.K.	21	172	64	52	58	6
R.I.	23	170	57	52	45	10
Mean	20.5	175.0	66.0	54	55.3	6.3
S.D.	1.7	4.3	6.5	2.0	6.0	2.5

結果

制限した試合時間内に行われたダブルスの総ゲーム数は 17 ゲームであった。そして 1 ゲーム当りのポイント数は平均 7.9 ポイントであり、また平均所要時間は 212 秒であった。チームのゲーム・ポイント獲得結果は、被験者 K.S.と H.K.組（SK 組）が被験者 R.I.と H.H.組（IH 組）に 10 対 7 で勝利している。この試合においては、平均的にはゲーム・ポイントと 1 ゲームの所要時間とは比例的な関係を示す傾向にあった。

そして取得された総ポイント 122 ポイントの内、73 ポイントがサービスキープによる得点であった。その得点取得割合はサービス・サイドの場合 60% も高い結果であった。逆にレシーブ・サイドの場合では極端に得点取得割合は低い値であった。

そうした試合内容を記録した行動記録シートと VTR を照合して、各ゲーム中の最大 HR や平均 HR を算出した。また試合前後の血圧と血中物質を測定し、17 ゲームに対する運動強度の評価資料とした。すなわち、血中物質は血中ホルモンである PE、PNE と乳酸 LA、LDH、CK である。

図 1 は 60 分の制限時間内における 1 分間の平均心拍数の経時的変化を示したものである。勝者 SK 組は上段に、敗者 IH 組は下段に示されている。SK 組は滑らかなゆっくりした周期の変化を

示しているのに対して、IH組ではSK組のような傾向がみられない。そしてSK組はパートナー同士でHRの変動周期の位相が逆転している。すなわち、パートナーのK.S.が高ければ、H.K.が低くなっている。しかし、IH組のパートナーH.H.における変動周期の位相が、R.I.において逆転している傾向が見られない。パートナーH.H.の変動周期は規則性があるが、R.I.のそれは不規則的である。

次に図2は60分の制限時間内に行われた17ゲームにおける1ゲーム毎の平均心拍数を示したものである。1ゲーム毎のHRであるので変動周期とその位相変化が各組で一層特徴的に見られる。図1と同様に、SK組の変動周期とその位相が対象的に現れている。しかし、IH組も変動周期とその位相は、SK組の様に対象的には見られない傾向であった。そして、各組の変動周期を持ったHRの17ゲームにおける平均心拍数は、SK組のK.S.とH.K.ともにIH組のR.I.とH.H.よりも高い傾向であった。また、各組の被験者K.S.とH.H.はそれぞれのパートナーよりもHRが顕著に高い傾向を示していた。(図1及び図2参照) この両者は互いにハードヒッターであった。

HRの変化に対して、総ポイント122ポイントの内、73ポイントがサービスキープされている。図2の下段の矢印(↓)はサービスをキープしたことを示している。各組ともにサービスをキープしているが、HRの変化はそれぞれ特徴的に現れている。

さらに、図3はサービス・サイドとレシーブ・サイドの1ゲーム毎の平均HRを示したものである。横軸はサービス・サイドのサーバーのHRで、縦軸はサービス・サイドのパートナーとレシーブ・サイドのフォア・サイドプレイヤー、バック・サイドプレイヤーのHRである。サーバーのHRに対しては規則的な変化が見られなかった。しかし、レシーブ・サイドのフォア・サイドとバック・サイドとでは常にフォア・サイドプレイヤーの方が高いHRを保っている傾向にあった。その差は有意であった。VTRの分析によるリターン・ボール速度はフォア・サイドプレイヤーの方がバック・サイドプレイヤーより遙かに大きかった。したがって、フォア・サイドプレイヤーはサービスを強くリターンしている傾向であった。これらの変化はHRの変化に顕著に現れた。

図4は安静値に対する17ゲームの平均HR(Δ HR)と安静時に対する試合終了直後の Δ PNE、 Δ LDH、 Δ LA、 Δ CKの増加分を示した。 Δ HRは被験者K.S.、H.H.の順に大きくなっている。この被験者は対戦相手のハードヒッターである。SK組の被験者K.S.とH.K.の間には有意差があった。(p<0.05)しかし、IH組の被験者H.H.とR.I.の間には有意差がなかった。 Δ HRの最も大きかった被験者K.S.は Δ PNEと Δ LAも最も大きかった。この被験者K.S.は Δ LDHおよび Δ CKが最も小さかった。それに対して対戦相手のハードヒッターである被験者H.H.は Δ PNEと Δ LAが最も小さかったが、 Δ LDHおよび Δ CKが大きかった。一方、SK組のパートナーである被験者H.K.は、 Δ PNEと Δ LAが小さく、 Δ LDHおよび Δ CKが大きく現れた。それに対してIH組のパートナーである被験者R.I.は、 Δ PNEと Δ LDHが小さく現れ、 Δ LAおよび Δ CKが大きく現れた。血漿エピネフリン(Δ PE)はすべての被験者においてほぼ同様な値であった。

考察

本研究では、テニスのダブルスにおける運動負荷強度についてHRから検討した。ダブルスにおける本実験の得点取得割合はサービス・サイドの場合60%も高い結果が得られた。レシーブ・サイドの得点取得割合がきわめて低かったのは、サービス権を持った組が特にそのゲームの主導権を持つといったダブルスの特徴の結果によるものと考えられる。すなわち、シングルス・ゲームよりもサービス・リターン領域（コース）が約半分かもしくはそれ以下になってしまうため、サービス側にとって有利となることが高得点取得割合を生じているのであろう。したがって、ダブルスではサービスに対してリターンの難易度が高くなっていることが本実験から推定できる。当然、サービス・リターンのみでなく、その後交互に攻撃と守備が入れ替わる際に、攻撃側は常にリターンに対する難易度が高くなる。そうした特徴が代謝的・心理的要素による運動負荷強度となって現れている。

この特徴はHRに著明に出現している。HRの変化は自律神経系の関与を推定するのに有効であるとされている。交感神経活動の有効な指標である血漿カテコールアミン濃度によってHRの変化は影響を受ける^{6), 13)}。

非活動状態のHRの変化は心理的ストレスの変動信号としてスポーツの心理的指導に利用されていることが多い。心臓は心理的ストレスに対して敏感に反応する。レシーバーのHRはサービスを受ける前から非常に高くなっている。これはFaulkner(1964)⁸⁾やMcArdle(1967)¹⁶⁾らが報告した運動に対する期待、緊張、不安などの心理的ストレスに対するものである。このストレスは大脳皮質の興奮を間脳に作用させて、延髄の心臓促進中枢を刺激することによって、HRを増加させるものと考えられる。そうした運動前のHRの増加反応はAnticipatory Heart Rate(AHR)と呼ばれているが、筋活動とは直接関係がないとされている。しかし、副腎髄質からのPEの放出による影響も無視できないことを指摘している⁸⁾。また、スタート前の合図でHRが急激に60~75%HRmaxまで増加することが知られている。McArdle(1967)¹⁶⁾はこれも心理的（情動性）ストレスの結果によるものである。

さらに17ゲームを通しての平均HRはかなり高く保たれていることも、AHRの出現機構に関連しているものと考えられる。各組のパートナーの中で、特にフォアサイドを守るプレイヤーの平均HRがきわめて高いのは、AHRの影響を受けるものと考えられる。フォアサイドプレイヤーの動きはゲームを左右する傾向が強いので、バック・サイドプレイヤーよりも高い緊張が要求されるものと考えられる。

一方、走運動は下肢を中心とした運動形態をとるが、テニスはダッシュ、ストップ、ラケットスウィングの運動形態をとり、下肢と上肢を間欠的継続運動する。そのためゲーム中のHRは高く、しかも変動も大きい¹⁴⁾。この原因は、下肢の運動に加えて上肢の運動が強く影響してHRの反応を

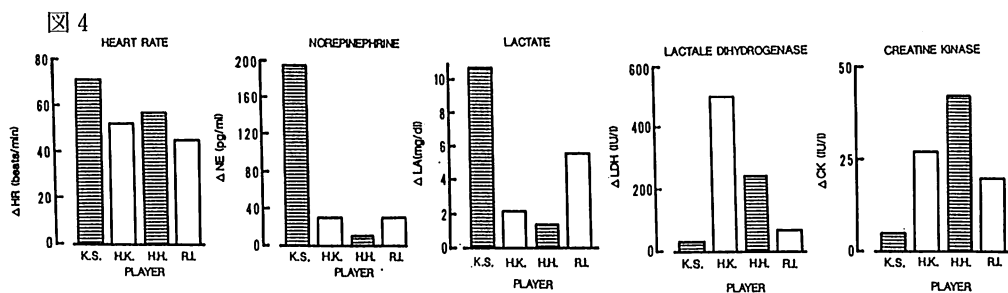
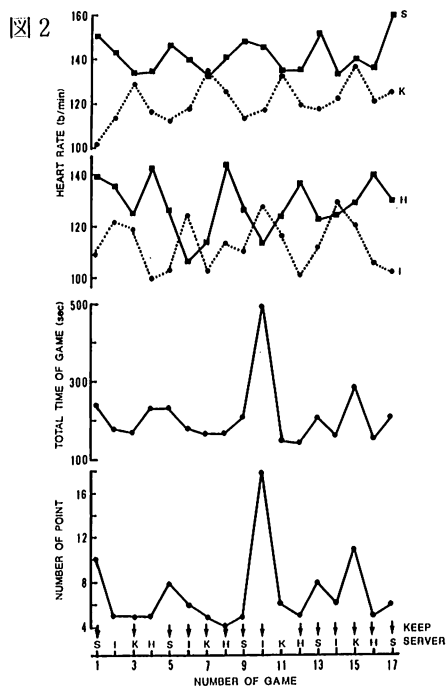
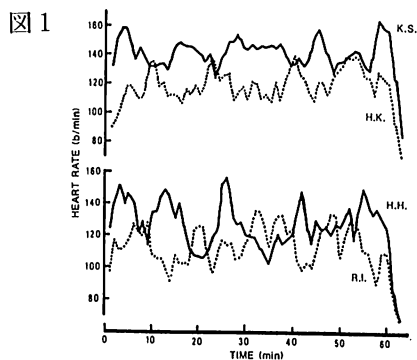
大きくしているものと考えられる。この現象は、活動筋の量的違いによると考えられている^{20) 21)}。すなわち、上肢筋量が小さいために、絶対物理的運動負荷に対して機械的効率が低下することと、さらに上肢の運動調整の程度が低い理由による。当然、上肢と下肢の運動の $Vo^2 \max$ は、活動筋の量が少ない上肢の方に小さくなって現れてくる。ハードヒッターの HR は非常に高いのはそのことが原因の一つに上げられるものと考えられる。

しかし、代謝性要素の他に神経性要素に対しても HR の反応はきわめて強い影響を受けている。心機能の促進による HR の反応は、弱い運動強度では迷走神経緊張の解放によっているが、強い運動強度では迷走神経緊張解放と同時に交感神経の興奮の連合によって強調される。これにはカテコールアミンが強く影響する⁴⁾。運動強度や活動筋量に応じて血漿カテコールアミンの著名な増加は、運動反応に特徴的な交感神経の過活動の反映によって起こる¹⁹⁾。強い運動強度での PE 濃度は 3~4 倍になり、PNE 濃度は 5~7 倍にも増加して、心血管系の反応を効果的にしていると言われている^{1) 2)}。テニスはラケット把持肢を強力に使う運動であるため、活動筋の収縮タイプは強い静的収縮に近いものである^{15) 18)}。特に勝者のハードヒッターの PNE や LA が高値を示したのはこの筋収縮タイプを強力に使ったためであろう。また、その収縮タイプは筋の疲労を早めやすいので、大量の血流を供給することにも高い HR の出現が関与しているものと考えられる^{7) 11) 12)}。非活動筋であるラケット把持対側肢は強い交感神経性の血管収縮によって活動筋への血流を補っている^{5) 9) 10)}。今後これらの変化 HR がの変動に現れていることを考慮して、ダブルスにおける運動負荷強度を考えることが重要である。

結語

- 1) ダブルスの試合時の運動負荷強度を観察するため、心機能の指標として心拍数 (HR) を、交感神経活動の指標として血漿カテコールアミンを測定した。
- 2) 本実験の得点取得割合はサービス・サイドの場合 60% 高い結果が得られた。
- 3) 17 ゲームを通しての平均 HR はかなり高く保たれていた。各組のパートナーの中で、特にフォアサイドを守るプレイヤーの平均 HR がきわめて高く保たれている。
- 4) 勝者はパートナー同士で HR の変動周期の位相が逆転していた。しかし、敗者のパートナー同士では変動周期の位相が、それぞれ逆転している傾向が見られなかった。すなわち、勝者の変動周期は規則性があり、敗者のそれは不規則的であった。
- 5) 血漿ノルエピネフリン濃度の変化はハードヒッターにおいてきわめて高い値を示した。
- 6) 血中乳酸濃度はハードヒッターにおいてきわめて高い値を示した。
- 7) 乳酸脱水素酵素とクレアチンフォスホキナーゼはバック・サイドの方が高い傾向であった。
- 8) 以上の結果からダブルスにおける運動負荷強度は、物理的仕事量 (エネルギー的要素) は勿論、心理的 (情動性) ストレス要因によって影響を強く受けることが示唆された。

心拍数からみたテニス選手の運動負荷強度に関する研究



参 考 文 献

1. Apple, F.S., and M.A. Rogers. Skeletal muscle lactate dehydrogenase isozyme alterations in man and women marathon runners. *J. Appl. Physiol.*, 61:477-481, 1986.
2. Apple, F.S., and P.A. Tesch. CK and LD isozymes in human single muscle fibers in trained athletes. *J. Appl. Physiol.*, 66:2717-2720, 1989.
3. Åstrand, P.O. and I. Ryhming. A monogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 7:218-221, 1954.
4. Atkins, J.M. and L.D. Horwitz. Cardiac autonomic blockade in exercising dogs. *J. Appl. Physiol.*, 42:878-883, 1977.
5. Bevegard, B.S. and J.T. Shepherd. Reaction on man of resistance and capacity vessels in forearm and hand to leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, 21:123-132, 1966.

6. Eckberg, D.L. Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow. *J. Appl. Physiol.*, 54:961-966, 1983.
7. Eklund, B. and L. Kaijser. Blood flow in the resting forearm during prolonged contralateral isometric handgrip at maximal effort. *J. Physiol.*, 277:359-366, 1978.
8. Faulkner, J.A. Effect of cardiac conditioning on the anticipatory exercise, and recovery heart rates of young men. *J. Spots Med.*, 4:79-86, 1964.
9. Folkow, B. and M.D. Halicka. A comparison between red and white muscle with respect to blood supply, capillary surface and oxygen uptake during rest and exercise. *Microvasc. Res.*, 1:1-14, 1968.
10. Honig, C.R. Hypoxia in skeletal muscle at rest and during the transition to steady work. *Microvasc. Res.*, 13:377-398, 1977.
11. Hurley, B.F., J.M. Hagberg, W.K. Allen, D.R. Seals, J.C. Young, R.W. Cuddihee, and J.O. Holloszy. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 56:1260-1264, 1984.
12. Jorfeldt, L., A. Juhlin-Dannfelt, and J. Karlsson. Lactate release in relation to tissue lactate in human skeletal muscle during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 44:350-352, 1978.
13. Katona, P.G. and F. Jih. Respiratory sinus arrhythmia: noninvasive measure of parasympathetic cardiac control. *J. Appl. Physiol.*, 39:801-805, 1975.
14. 加賀谷 薫彦. ラケットを用いる球技の心拍数. *体力科学*, 24:109-110, 1975.
15. Lind, A.R. and C.A. Williams. The control of blood flow through human forearm muscle following brief isometric contractions. *J. Physiol.*, 288:529-547, 1979.
16. McArdle, W.D., G.F. Foglia, and A.V. Patti. Telemetered cardiac response to selected running events. *J. Appl. Physiol.*, 23:566-570, 1967.
17. Ryhming, I. A modified harvard step test for the evaluation of physical fitness. *Arbeitsphysiol.*, 15:235-250, 1954.
18. Rodbard, S. and E.B. Prager. Contraction frequency, blood supply, and muscle pain. *J. Appl. Physiol.*, 24:142-145, 1968.
19. Savin, W.M., D.M. Davidson, and W.L. Haskell. Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 53:1572-1575, 1982.
20. Stenberg, J., P.-O. Åstrand, B. Ekblom, J.R. Oyge, and B. Saltin. Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J. Appl. Physiol.*, 22:61-70, 1967.
21. Vokac, Z.H., E. Bautz-Holter, and K. Rodahl. Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.*, 39:54-59, 1975.