

6 X線映画法による柔道選手の運動時心容積変化

体力医学研究所 増 田 允
芝山秀太郎
江 橋 博

緒 言

東京オリンピックを契機として柔道の技術の養成と並んで体力の養成が近年特に重要視されるようになった。この趣旨に添った柔道関係の研究も多く、又呼吸循環機能を中心として追求した報告もいくつかみられる²⁾³⁾⁴⁾⁶⁾⁹⁾。柔道の競技の性質上終始積極的にしかも効果的に技を施すため、その基盤として高度なスタミナが要求されることは先人の報告⁵⁾¹²⁾でも明らかであり、柔道は呼吸循環系に対して大きな負荷を与えることは間違いない。

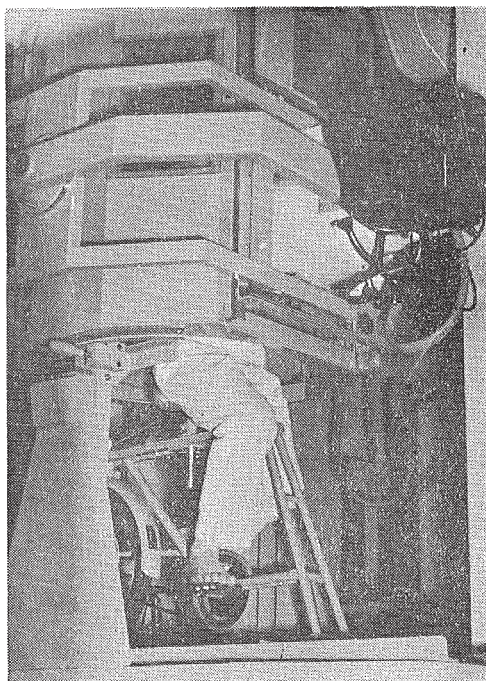
柔道選手の循環機能について、著者らがすでに報告したとおりスポーツ心臓の所有者であることを明らかにした⁶⁾。そこで本報では循環系の中心である心臓に着目し、柔道選手の運動時における心臓容積変化をX線映画により解明しようとした。X線映画による運動中の心臓容積変化については、著者らがすでに陸上中長距離選手について報告しているが⁷⁾、柔道選手のX線像からみた心臓容積変化についてはまだ知見を得ていない。しかし柔道に関するX線像による心臓観察は、すでに猪飼²⁾らによって、「絞め」の生理学的研究の一環として報告されている。

本報では柔道選手の運動時における心臓容積変化を追求しようと実験を試みた。

図1, X線映画撮影装置

表1 体型及び安静時心陰影の計測値

	柔道選手 H.S.	非鍛練者 H.E.
性	male	male
年 令	19	24
身 長(cm)	165.0	163.5
体 重(kg)	67.7	51.6
胸 囲(cm)		
正 常	95.1	81.4
最 大	96.5	82.7
最 小	94.5	79.7
心臓陰影(cm)		
AR+AL	4.84	4.50
MR+ML	14.46	10.91
MR	5.99	3.12
ML	8.47	7.79
L	15.67	12.26
UQ+OQ	12.13	10.30
Area	152.6	107.0



実験方法

1. 被検者

被検者は、運動歴5年の軽量級大学柔道部員、対照として同年代の健康青年男子を選んだ。これらの被検者は先に報告した「5循環機能からみた柔道選手の体力」と同じ被検者である。したがって両被検者の基礎体力の測定値、安静時の循環、呼吸機能の諸測定値は、同論文の表1、2に示すごとくである。

このX線映画解析の基礎となる両者の形態的指標および心臓影像の計測値を表1に示した。

2. 実験装置

実験装置はX線映画撮影装置と自転車エルゴメーターとからなる。この装置の全景を図1に示した。

a) 試作自転車エルゴメーター

負荷運動として各種運動、とくに locomotive exercise に適応し得るがごとき装置はこの目的の実験に望ましいが、X線映画記録の現在の技術では不可能に近い。したがって運動負荷装置は自転車エルゴメーターとし、これに1、2映画撮影に適応すべく構造的に改良を加えた。

その目的はできるだけランニングに近い姿勢を得られること、X線条件および撮影条件を有利にすることの2点にある。これらの条件を満たすためサドルとクランクの位置関係を通常の自転車エルゴメーターより離し、クランク位置の固定に対してサドルを前後に調節、また上下にも調節できるよう設計した。このことはまた被検者の身体条件による差異をもなくすることができる。

b) Image intensifier, X-Ray tube 固定装置

Image intensifier 固定装置は両方で50kgの重量に充分耐え得るものとし、水平軸の前後にImage intensifier, X-Ray tube を固定した。

固定装置は次のごとき目的を満足させるため、上下、左右、斜上下の移動ができるよう設計した。すなわち上下移動は被検者の身体条件を考慮し測定条件を定めることが可能である。なお移動幅は上下方向とも16cmである。左右移動は心臓の第1斜位及び第2斜位からの観察を可能にするため、それぞれ45°ずつ回転できるようにした。また斜上下方向からの観察もできるように設置した。なおこれらは、装置側面から押ボタン方式によって自動的に操作できる。また管球と蛍光板と

表2 実験時のX線条件

	管電圧 (KVP)	管電流 (mA)	照射線量 (r/min)	曝射時間 (sec)	総照射線量 (r)
柔道選手	70	8.0	8.7	80	12.00
非鍛練者	90	6.0	11.2	50	8.750

の距離は90cmである。

c) Image intensifier

Image intensifier は PHILIPS 製9インチ(230mm)径を用いた。この image intensifier を用いた理由は、9インチ径以下では目的とする心臓の全像を把握することが非常に困難なためである。

d) X線管球

X線管球は Toshiba DRX-90 A type を使用した。

3. 撮影条件

撮影の主なる条件は次のとおりである。

Camera: Arriflex 16mm, Lens: Arriflex cinegon 35mm, 37.5mm, Film: Eastman TriX, ASA 250, Film speed: 24/sec., F stop: 2, 1.8,

4. X線条件

X線を照射する場合、管電圧、管電流、曝射時間は欠かすことのできない条件である。したがってこれらの条件を最低限にし、最大の効果を得ることが目的である。この目的を満足させるため種々の条件で予備実験を行なった。すなわち予め蛍光板の前に被検者の生体とほぼ同条件のファントムを設置し、各条件、すなわち管電圧、管電流に変化を加え数秒撮影し、上記の条件および解析に有利な陰影像を得るための至適条件を決定した。

予備実験で得た至適X線条件は表2のとおりである。

5. 計測装置

撮影したフィルムはポジにし、ナック製モーション・アナライザーを用い、1コマずつ計測した。なお計測にあたっては誤差を最低限にとどめる目的で心陰影を明確に得るため暗室内で計測を行なった。

6. 計測の指標

Film 計測の指標には、全横径を計測した。すなわち心陰影像の右縁と血管との境界部と、心陰影像の右縁と横隔膜の境界部までの長さの上部限界より85%の位置とした。この全横径の計測部は心陰影像最大横径に値するところである。

この計測値は、モーション・アナライザーに投影された値であり、実大の絶対値ではない。しかし安静時値に対応して変化する数値変化を考へる場合相対的变化としてとらえられるから解析上の矛盾はない。

7. 運動負荷条件

a. 柔道選手の場合

負荷強度は、予備実験として all-out 運動を行ない、all-out に達した時間および負荷を考慮し

図2 柔道選手における運動中、回復過程の心陰影像変化

(1)安静時, (2)~(6)運動中, (2)運動開始直後, (3)運動開始後1分, (4)運動開始後2分, (5)運動開始後3分, (6)運動開始後4分, (7)~(8)回復過程, (7)運動中止直後, (8)運動中止後1分。

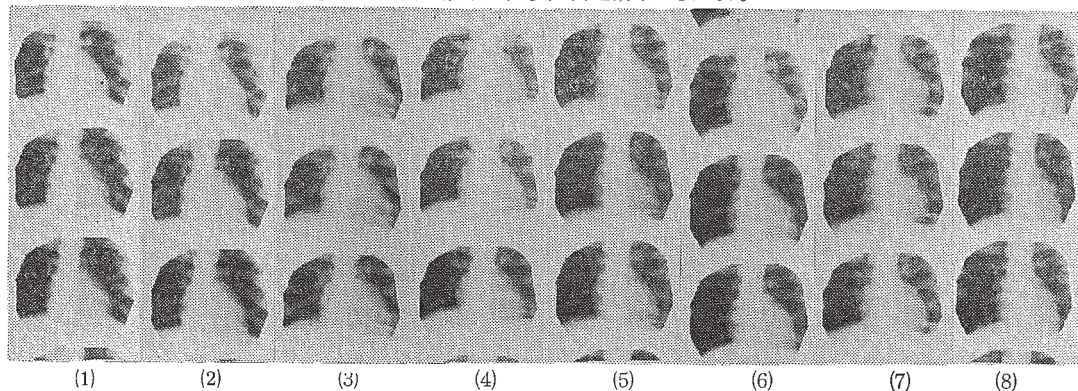


図4 柔道選手における運動中、回復過程の全横径変化

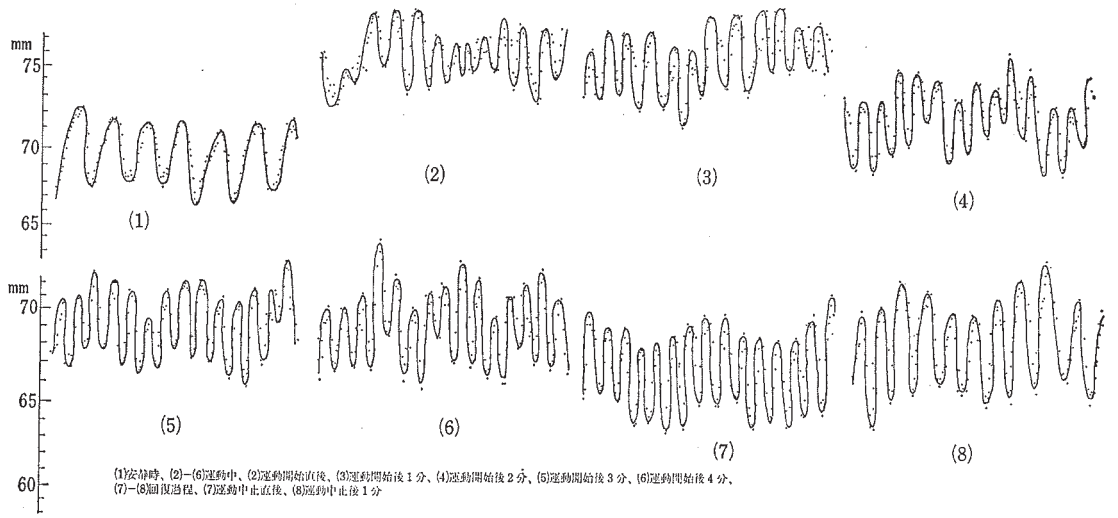
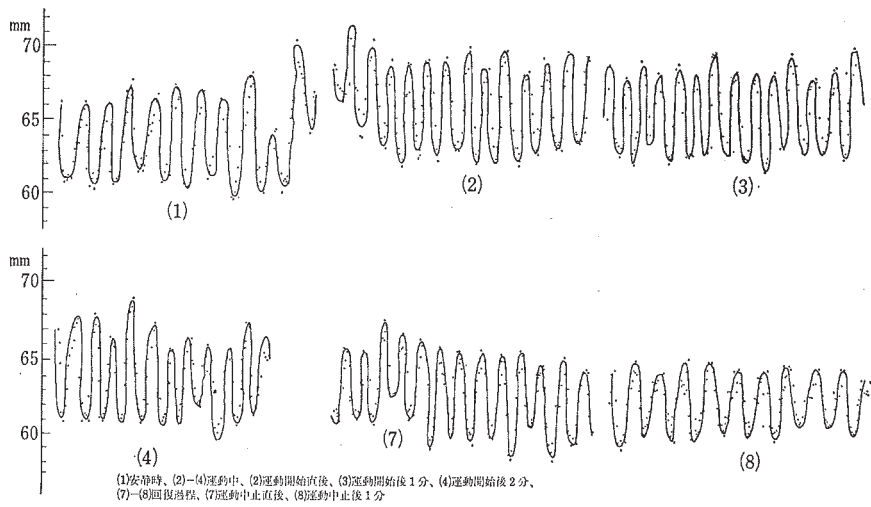


図5 非鍛練者における運動中、回復過程の全横径変化



て、10kg・m/sec, 4分の運動を決定した。自転車エルゴメーターの回転には、ペースメーカーとして、メトロノームを用い、毎分90~96回転の運動を行なわせ仕事量は2400kg・mであった。

b. 非鍛練者の場合

負荷強度および自転車エルゴメーターの回転速度を、柔道選手と全く同じ10kg・m/sec という条件で行ない。負荷時間は2分とした。したがって仕事量は1200kg・mであった。

8. 実験における撮影経過

撮影は安静時、運動中、回復過程の各位相のなかから観察に重要と思われる位相を選び、各位相11秒ずつ撮影した。すなわち柔道選手は運動負荷時間を4分に限定し、運動経過中1分間隔に観察した。すなわち運動中は、運動開始直後、1分、2分、3分、および運動終了直前とし、回復過程は終了直後、終了後1分を撮影した。一方非鍛練者である一般青年は柔道選手の半分である2分を運動負荷時間とし、観察した位相は柔道選手の場合と同様である。なお撮影時間を11秒とした理由は、被検者に対する被曝線量の問題を充分考慮した結果である。

実験成績

1) 柔道選手における心陰影像変化

X線映画記録から、安静時、運動時、回復時の各位相から任意に3コマずつ抽出したパターンを図2に示した。さらにこの変化の過程をフィルム1コマずつについて計測した値をプロットすると図4となる。したがって黒点の各間隔は0.25秒であり、1つの波は1拍動を示している。図のごとく運動中 end-diastolic level(E.D.L.)も end-systolic level(E.S.L.)も安静時水準より増加するのを認めた。図の実線はその拍動振幅を明瞭にすべくトレースしたものである。運動を中止すると速やかに E.D.L., E.S.L. の両相とも安静時水準より減少した。

この図をより明らかにするため各位相の E.D.L., E.S.L. の各水準の平均値を各時間軸に対応してプロットすると図6になる。図の白丸は E.D.L. を表わし、黒丸は E.S.L. を示す。したがって

図6. 柔道選手における運動中、回復過程の E.D.L.とE.S.L.の変化

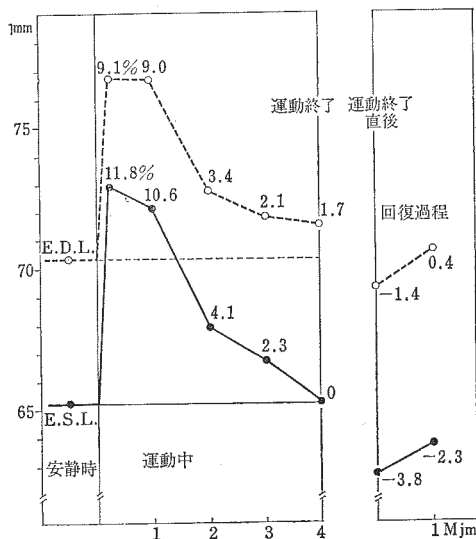


図7. 非鍛練者における運動中、回復過程の E.D.L.とE.S.L.の変化

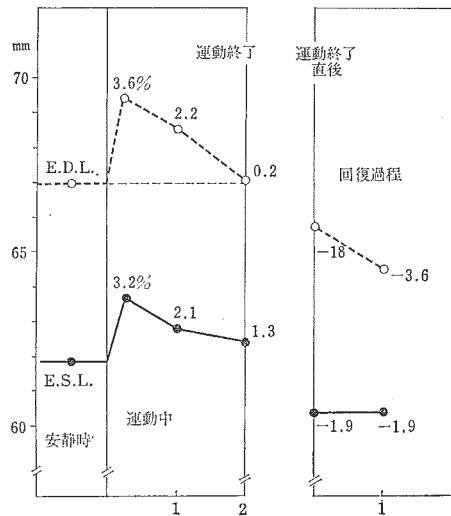
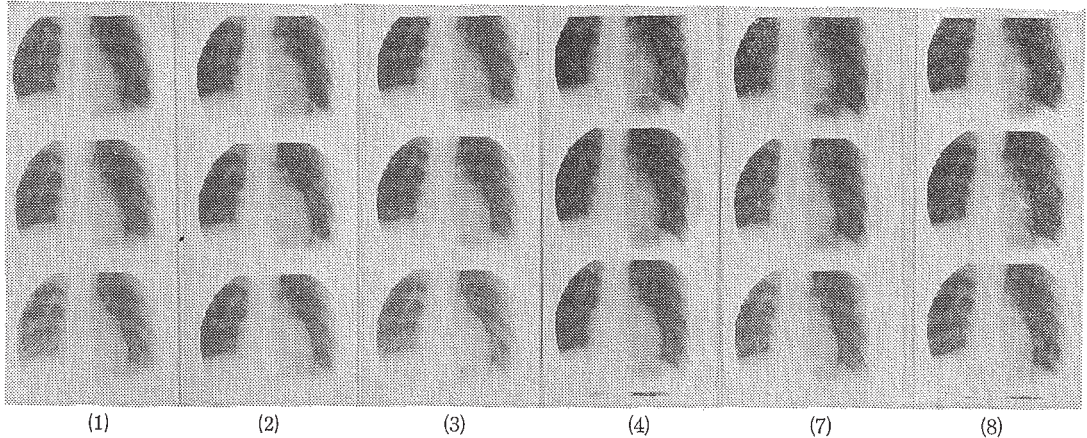


図3 非鍛練者における運動中、回復過程の心陰影像変化



両者の差が拍動幅となる。また図中の数値は、安静時における E.D.L., E.S.L., よりの増加及び減少を%で表わしている。

図の E.D.L. と E.S.L. の安静時水準よりの増加は心臓容積の増大を示している。運動経過中、回復過程における拍動幅の変化をみると、次のような規則性をみた。

運動中止直後>運動中4分>運動中3分=安静時>
運動中2分>運動中1分>運動開始直後

このことから運動によって心臓容積は増大し、拍動幅は運動前半は安静時のそれより小さいが、途中から安静時に近似し、さらに運動終了時には増大している。したがってこの場合においては明らかに拍動量は安静時より増大している。また心臓容積が増大していることから、運動中少なくとも拍動量を低下させない機能が存在することがうかがえる。

2) 非鍛練者における心陰影像の変化

図2に示した柔道選手の安静時、運動時、回復時の心陰影像パターンに対応して、非鍛練者について示したものが図3である。さらに図4にならって計測値をプロットすると図5になる。また各位相の E.D.L., E.S.L. の各水準の平均値を各時間軸に対応してプロットしたものが図7である。図でも明らかなおり、E.D.L. も E.S.L. も安静水準より増加することを認めたが、柔道選手の増加の割合に比較すると約3分の1にすぎなかった。運動が進むにつれて E.D.L. も E.S.L. も安静時水準に接近する傾向が著明であった。したがってこの非鍛練者における成績では拍動幅の増大をもって拍出量の増大に応ずることがうかがえた。

以上の解析により、柔道選手、非鍛練者とも運動に対して心陰影の増大、すなわち E.D.L. も E.S.L. も増大することを確認した。しかし個々のフィルムの計測値には、fluctuation が存在するため、拡張、収縮の区別を求めず運動の各位相で測定した値の平均を求めて心陰影変化の増大、縮小の一因子として解析してみた。この成績を示すと図8になる。この図は以上の計算で得られた安静時平均値をゼロにおき、かつ負荷により変化した最大値の安静時値に対する増加率、減少率を同一スケールに求め、測定値の変化を時間軸に対応してプロットしたものである。図の実線は柔道選手の成績、点線は非鍛練者の成績である。図中に示した数値は安静時に対応する増加又は減少率を示している。

3) 心拍数の変化

X線映画撮影と同時に胸部誘導による心電図のRスパイクから算出した心拍数は、柔道選手では129、非鍛練者では110が最高値であった。すなわち安静時に対する増加率は前者が115%、後者

は52.8%である。

考 察

この実験成績は、運動負荷により心陰影の E.D.L., E.S.L. とともに安静時より増加すること、すなわち心臓容積が増大することを示している。この事実は柔道選手ほど心臓容積が増大することを認めた。すなわち運動負荷に対応して心臓は拍出量を増すが、その適応性の高いものほど心容積を増大すること、すなわち、拡張期予備容量を増大することができる。柔道選手では運動中拍動幅は小さく、運動経過にもなって安静時値に近づいてくる。この事実により拡張期血液量を増し、拍動幅を低下し、拍動量を少なくとも低下させない機構が存在することがうかがわれる。

心拍数が拍出量増加の主要な因子であることは多くの研究者の認めるところである。例えば非常に強度な運動において、心拍数 200 にも達するような場合でも、拍動量を充分維持し得るし、かつよく鍛練した者では左心室への充填率は安静時の 2 倍にも達すること、したがって非常に短い流入時間でも拍動量は落ちないとの報告⁷⁾もある。またスターリングの法則をまつまでもなく、心筋の伸展、すなわち拡張期容積が大きいのであるから、わずかな心筋の短縮によって比較的大きな拍動量が維持されることになる。したがって心容積の増大と拍動幅の減少による心拍出量の維持は生理学的に合目的といわざるを得ない。柔道選手では運動終了直前の心容積はかなり安静時に近づくが、拍動幅が増大してこれにこたえ、一方非鍛練者においては、運動中心臓容積の増大は小さいが、拍動幅の増大をもってこたえている。

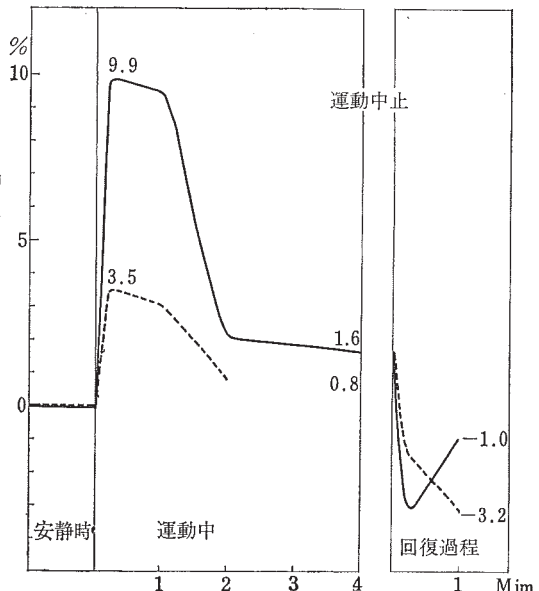
心拍出量を考慮する場合、心臓の拡張期容積と心筋の短縮度の 2 つの因子によって決定される。この実験成績では、柔道選手においては拡張期容積の増大にあらわれ、運動終了直前及び拡張期容積を十分に増大することのできない条件の非鍛練者においては、心筋の短縮度を増して働くことが考えられる。

心容積の増大は運動開始直後急速におこってくる。心拍出量が増大するのであるから静脈環流量が増加するのは自然であると考えられるが、この急速な血液流入のメカニズムについては明らかにし得ない。しかし筋のポンプ作用による静脈血環流の増大、運動による内臓などの血液分布の差異などが考えられる。

拍動量は、運動初期はともかく、運動が進むにつれ、その拍動幅は安静時の拍動幅に近づくことからみて、拍動量は安静時のそれよりも増大するといえる。運動中拍動量が増加するという報告は、人や動物の実験によっても多数あるが⁸⁾¹³⁾、反対に減少するという報告も 2, 3 みられる¹⁰⁾¹¹⁾。しかしこの実験では、拍動幅は比較的定常性を保っていることからみて、上昇した拍動量が定常性を保つという従来の成績とほぼ一致していることがうかがえよう。

以上のような柔道選手における運動中の心臓容積増大については、Rushmer その他の直接法による結果とは相反する結果であるといえるが、これは被検動物の差、また本実験では左心室のみの大きさを抽出することはできないなどいく多の条件差による

図 8 運動中、回復過程における心陰影変化の実験ダイアグラム



ものと考えられる。

総括

柔道選手の運動時における心臓容積変化をX線映画法によって検討した。被検者はスポーツ心臓を持った軽量級柔道選手、および同年代の健康青年男子を選んだ。

運動負荷は自転車エルゴメーターによった。

X線映画撮影装置および自転車エルゴメーターは試作して用いた。

X線映画撮影は毎秒24コマとし、フィルム1コマずつをモーション・アナライザーで計測した。心陰影の観察・計測は横径について行なった。

その結果次のごとき結果と結論を得た。

- 1) 運動負荷により柔道選手、非鍛練者とも心陰影の E.D.L., E.S.L. の増大をみた。すなわち運動負荷により心臓容積は増大する。
- 2) この心陰影の増大は柔道選手の方が大であった。
- 3) 運動経過にともなう拍動幅は、柔道選手の方が小であった。
- 4) この拍動幅は柔道選手においては、運動終了直前までは安静時より小であり、非鍛練者では拍動幅は運動中安静時より大であった。
- 5) 運動中の拍動量は、安静時拍動量より大となることが推定された。
- 6) 運動を中止すれば、柔道選手、非鍛練者とも心陰影は縮小した。
- 7) 以上のことから柔道選手では、運動中の拍出量の要求に対し、拡張期容積を増し、心筋の短縮度を減少し、拍動量を増加または低下させない機能を有すること、またこれに対し非鍛練者では、拡張期容積の増大が鍛練者より少なく、したがって心筋の短縮度を大きくしてこれに適應するメカニズムが存在することを推定した。

参考文献

- 1) Benegard, S., et al(1963) : Circulatory studies in well trained athletes at rest and during exercise, with special reference stroke volume and the influence of body position, Acta Physiol. Scand., 57, 26—50.
- 2) 猪飼 道夫他(1958) : 柔道における「絞め」の生理学的研究, 第2報 X線像による心臓の観察, 講道館柔道科学研究会紀要, 1, 13—21.
- 3) 猪飼 道夫(1958) : 柔道の血圧に及ぼす影響, 講道館柔道科学研究会紀要, 1, 85—91.
- 4) 猪飼 道夫他(1966) : 柔道練習中の心拍数変動, 柔道, 37(4), 25—30.
- 5) 講道館柔道科学研究会(1966) : 柔道選手のスタミナに関する研究, 柔道, 37(7), 49—55.
- 6) 増田 允他(1966) : 柔道選手の体力について(1) 主として循環機能の立場からの考察, 体力研究, No. 9, 20—30.
- 7) M. Masuda, et al(1967) : Study on human heart volume changes during all-out and moderate exercise by cinefluorography, Bulletin of Physical Fitness Research Institute, No. 13, 1—19.
- 8) Meek, W. J., et al(1923) : Cardiac size and output in man during rest and moderate exercise, Am. J. Physiol., 63, 400—401.
- 9) 小川 新吉他(1963) : 柔道関節技の研究(4) 呼吸循環機能よりみたる生体反応, 講道館柔道科学研究会紀要, 2, 73—80.

- 10) Reindell, H.(1956) : Regulative und myogene Dilatation des Herzens, Fortschr. Gebiete Röntgenstrahl. Nuklearmedizin, 85(4), 385—409.
- 11) Ruosteenoja, R., et al(1958) : Heart volume changes at rest during exercise, Acta Med. Scand. 162, 263—275.
- 12) 佐々 龍雄(1963) : 柔道選手のスタミナの研究, スポーツ科学研究委員会報告書, 11—16.
- 13) Williamson, C. B., et al(1915) : The effects of exercise on normal and pathological heart ; Based upon the study of one hundred cases, Am. J. M. Sc. 149, 492—502.

