

氏名(本籍)	か 狩	のう 野	ゆたか 豊	(群馬県)
学位の種類	博士(体育科学)			
学位記番号	博甲第1,746号			
学位授与年月日	平成9年3月24日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	体育科学研究科			
学位論文題目	トレーニングが筋組織の毛細血管数とその内腔形態に及ぼす影響			
主査	筑波大学教授	医学博士	勝田	茂
副査	筑波大学教授	医学博士	竹宮	隆
副査	筑波大学教授	教育学博士	芳賀	脩光
副査	筑波大学助教授	医学博士	宮本	信也

## 論文の内容の要旨

### 1. 目的

筋組織の末梢循環能力は、運動が継続できる強度や時間を規定し、全身の持久力を反映する。持久力は様々なスポーツ活動のパフォーマンスや、日常生活を送るための行動体力レベルを決める重要な因子となる。したがって、運動生理学の立場から持久力を決定する要因を明らかにすることは重要な研究課題である。

毛細血管の容積やその表面積(毛細血管床)は末梢循環における血液灌流能力や物質交換能力を規定している。そして毛細血管床は数と内腔の大きさによって決定される。そのため、筋組織の末梢循環能力を知るためには、毛細血管の形態を数と内腔の両面から明らかにする必要がある。そこで本研究では毛細血管の数と内腔を加味した評価法を用いて、トレーニングに対する心筋および骨格筋の毛細血管形態の適応について明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究課題

1. 心肥大を生じる高強度の持久性トレーニングをラットに負荷し、心筋(左心室乳頭筋)における毛細血管床の変化を血管数と内腔の両面から明らかにする(実験Ⅰ)。
2. 低強度ならび高強度の持久性トレーニングに対する、ラットの左心室筋における毛細血管床の変化について明らかにする(実験Ⅱ)。
3. 低強度ならび高強度の持久性トレーニングがラット骨格筋の毛細血管床に及ぼす影響について明らかにする。さらに、毛細血管数と内腔を加味した指標と筋の酸化系酵素活性との対応関係について検討する(実験Ⅲ)。
4. 持久性トレーニングに対するラット骨格筋の毛細血管形態の変化過程を明らかにする(実験Ⅳ)。
5. 筋肥大に対するラット骨格筋の毛細血管床の適応を明らかにするために、血管数や内腔面積から毛細血管の形態を評価し、それらの形態特性と筋横断面積や酸化的酵素活性の対応関係について調べる(実験Ⅴ)。

### 3. 方法および結果

研究課題1: 持久性トレーニングによる心肥大とそれともなう毛細血管形態の変化(実験Ⅰ)

実験にはラットを用い、小動物用トレッドミルにより4週齢時から12週間にわたり高強度のランニングトレー

ニングを負荷した。トレーニング終了後、灌流固定法によって心筋組織を摘出し、左心室乳頭筋を用いて組織標本を作成した。高強度の持久性ランニングトレーニングによって心筋線維の肥大が生じたが、毛細血管の新生は起こらなかった。そのため左心室乳頭筋の毛細血管密度は低下する傾向にあった。しかしながら、毛細血管内腔の直径が増加したことにより、毛細血管の表面積密度は変化しなかった。以上の結果から、トレーニングにより肥大した心筋においても、毛細血管床の大きさは肥大を生じていない正常な心筋と同レベルであることが示された。

#### 研究課題2：異なる強度の持久性トレーニングが心室壁の毛細血管形態に及ぼす影響（実験Ⅱ）

ラットに低強度ならび高強度のトレーニングを4週齢時から12週間にわたり負荷した。トレーニング終了後、灌流固定法によって心筋組織を摘出し、左心室筋を用いて組織標本を作成した。その結果、高強度の持久性ランニングトレーニングによって、毛細血管の内腔面積が拡大し、毛細血管の表面積も増加することが実験Ⅰと同様に、左心室筋においても確認された。また、毛細血管の新生は見られなかった。低強度トレーニングでは毛細血管床の形態に変化は観察されず、形態的な指標の値はコントロールの値とほぼ等しかった。

実験ⅠとⅡより、心筋では持久的なトレーニングによって、毛細血管の新生は起こらないことが示された。しかしながら、高強度のトレーニングによって毛細血管の内腔が拡大し、その結果、毛細血管の総表面積は増加することが明らかになった。

#### 研究課題3：骨格筋の毛細血管形態と持久性トレーニング（実験Ⅲ）

ラットに低強度ならび高強度の持久性ランニングトレーニングを4週齢時から12週間にわたり負荷した。トレーニング終了後、灌流固定法によって足底筋を摘出し組織標本を作成した。トレーニングによって足底筋の毛細血管数は有意に増加し、その増加程度は低強度と高強度トレーニングでほぼ等しかった。ところが、低強度トレーニングでは内腔の小さな毛細血管が増加し、高強度トレーニングでは大きな内腔の毛細血管が増加した。その結果、高強度トレーニングのみに毛細血管表面積の有意な増加が認められた。また、筋の酸化系能力と毛細血管表面積の増加には対応関係が認められたが、毛細血管密度のように数のみを基準にした指標との間には有意な相関関係はなかった。

#### 研究課題4：持久性トレーニングによる毛細血管形態の変化過程について（実験Ⅳ）

持久性トレーニングによる毛細血管の数と内腔の変化過程について明らかにするために、1週間、3週間、9週間と期間の異なる持久性トレーニングをラットに負荷した。その結果、毛細血管はトレーニングを開始して1週間から3週間にかけて増加したが、毛細血管内腔の拡大はトレーニング開始3週間以降に観察された。したがって、毛細血管の内腔の拡大は血管の新生が起こる以前には生じないこと、毛細血管数の増加がプラトーに達した段階で、毛細血管の内腔の拡大が見られることが明らかになった。

#### 研究課題5：骨格筋の肥大と毛細血管の形態適応について一代償性負荷モデルによる検討（実験Ⅴ）

実験にはラットを用いて、腓腹筋の摘出によって、足底筋に慢性的な過負荷が生じる手術を行い、その6週間後に灌流固定法によって足底筋の組織標本を作成し分析を行った。慢性的な過負荷によって筋線維横断面積は有意に増加した。また、毛細血管形態において内腔の拡大は生じなかったものの、毛細血管数の増加が見られた。その結果、肥大した骨格筋の毛細血管表面積はコントロールの筋と同レベルであることが明らかになった。

## 4. 結 論

本研究では筋組織の末梢循環能力を把握するために、毛細血管の形態を数と内腔の両面から評価することの重要性が明らかになった。トレーニングに対する毛細血管の形態適応は心筋と骨格筋では明らかに異なっており、心筋では毛細血管内腔の変化が中心であるのに対して、骨格筋は毛細血管数自体の変化が顕著であることが示された。ただし骨格筋においても、新生した毛細血管の内腔形態がトレーニング条件によって異なる可能性があり、血管数に加えて内腔の大きさについて考慮する必要があるだろう。このようなトレーニングによって生じる毛細

血管内腔の拡大や血管新生はいずれにしても毛細血管床を増加させ、筋組織において酸素の運搬や拡散などの末梢循環能力を高めると考えられる。このことはトレーニングが全身の持久力を高め、スポーツ活動のパフォーマンスや、日常生活の行動体力レベルの改善に貢献する要因の一つであるだろう。以上のように、本研究の知見はトレーニングに対する生体に備わった末梢循環の形態適応を明らかにするものであった。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、筋組織の毛細血管床がトレーニングによって形態的にどのように変化するのかについて、毛細血管の数やその内腔の両面から明らかにしようとするものである。

著者は、心筋と骨格筋に焦点をあて、持久性トレーニングや筋力トレーニングによって生じる毛細血管形態の適応を実験動物（ラット）を用いて検討した。まず、①心筋においては持久性トレーニングによって、毛細血管の新生は起こらないが、毛細血管の内腔が拡大し、その結果、毛細血管の総表面積は増加することが明らかになった。このことはスポーツ心臓の末梢循環能力が考える際の重要な知見であると思われる。②骨格筋においては、持久性トレーニングによって毛細血管が新生するが、低強度トレーニングでは内腔の小さな毛細血管が増加し、高強度トレーニングでは大きな内腔の毛細血管が増加することが示された。これはトレーニング強度の違いが毛細血管表面積の大きさに影響することを意味している。さらに、③持久性トレーニングの初期に毛細血管が新生し、その後、毛細血管内腔の拡大といった形態変化が起こることが明らかになった。また、④骨格筋の肥大を生じるような筋力トレーニングにおいても、肥大に見合った毛細血管表面積の増加が起こり、これは毛細血管の内腔の拡大ではなく、毛細血管数の増加によるものであることが明らかとなった。以上のように、トレーニングは筋組織の毛細血管網を発達させるが、その形態変化には数と内腔の両面があることが明らかにされた。

審査の結果、心筋と骨格筋ではトレーニングによる毛細血管の形態適応が異なることの生理的な意味についてさらに記述を加えるべきであったこと、毛細血管を考える際には細動脈との交互性の検討が必要不可欠であることなど指摘された。しかしながら、トレーニングに対する毛細血管の形態適応には数と内腔の両面があること、そして、毛細血管の数と内腔のそれぞれが毛細血管床の大きさに影響していることを明らかにした点は、筋の持久力を考える際の重要な知見として高く評価できるものである。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。