

青年層における運動負荷時の生理学的変化

— 運動量変化に伴う血圧および心拍数の変動について —

神戸夙川学院大学 観光文化学部教授 櫻井 一成

神戸夙川学院大学 観光文化学部教授 西村 典芳

【目次】

[要約]

1. はじめに
2. 対象
3. 方法
4. 結果および考察
5. 今後の展望

[参考文献]

【要約】

青年層の男女 42 名（平均年齢 16.9 歳）を検索対象とし、「運動経験あり」= A 群（運動+）：16 名、「運動経験なし」= B 群（運動-）：26 名について、軽運動負荷による最高血圧および心拍数の関係について比較検討した。その結果、運動経験の有無にかかわらず、約 8 割の被験者において最高血圧値の上昇に連動して心拍数の増加が認められたが、血圧上昇に伴う心拍数減少が約 2 割にみられ、また血圧低下に伴う心拍数増加が 6 割に上ったことから、両群ともに「軽運動後」の血圧低下と心拍数の関係性は、極めて不安定であることが判明した。次に A 群 7 名、B 群 10 名に段階的運動負荷（「運動前」、「軽運動後」、「中等度運動後」）に伴う血圧および心拍数の推移について検討したところ、A 群においては、同負荷増強による「軽運動後」の血圧および心拍数の変動は軽微であった。従って、過去の運動習慣の積み重ねが潜在的基盤となり、軽運動を行うことによる情動の安定

化や心身のリラックス効果が誘導され、血圧と心拍数を安定化させるものと考えられた。一方、B 群では軽運動負荷の段階で血圧上昇傾向が示され、中等度の運動負荷が加わると血圧および心拍数の上昇幅が大きく振れることから、過去の運動経験や日常の運動志向が乏しい場合、健康・保健上リスクの増大を招来する可能性があるものと思われる。さらに A 群においては、中等度の運動負荷が加わった際においても、血圧および心拍数の変動が軽度であったことから、日頃の継続的な運動が、高血圧予防の観点からも健康維持・増進に欠かせないものであると言える（以上、データは本文参照）。

1. はじめに

運動時の血圧および心拍数（脈拍数）増加は、日常、よく見受けられる生理的变化である。われわれは、青年層における健康維持推進と健康指導に役立てることを目的として、安静時と運動負荷時（軽運動時および中等度運動時）における血圧および心拍数の変動について検討した。また被験者の運動経験の有無におけるこれらの変動についても比較検討し、考察を加えた。

2. 対象（表 1）

2014（平成 26）年度に本学のオープンキャンパスに参加し、協力の得られた 15～17 歳の男女 42 名（中学生 1 名、高校生 41 名）を検索対象とした。被験者の平均年齢は 16.9 歳、男女比は 1 : 3.2（男

表1 運動負荷による血圧および心拍数の変化 (n=42)

	性別・年齢	運動経験 (3年以上)	運動前(安静時)			軽運動後			中等度運動後		
			血圧H	血圧L	心拍数	血圧H	血圧L	心拍数	血圧H	血圧L	心拍数
A-1	17 M	サッカー	129	59	71	138	63	76			
A-2	17 M	バレーボール	97	51	65	109	84	79	134	92	105
A-3	17 M	バレーボール	124	77	75	123	73	91			
A-4	17 F	陸上/水泳	129	86	85	123	76	75	126	80	84
A-5	17 F	ダンス	153	109	71	135	90	70			
A-6	17 F	陸上	100	58	67	111	65	64			
A-7	17 F	陸上	112	55	60	104	53	66	110	53	72
A-8	17 F	ソフトボール	156	71	65	194	84	76			
A-9	17 F	ハンドボール	103	68	63	109	76	72			
A-10	17 F	バレーボール	100	64	47	132	83	58			
A-11	17 F	バレーボール	114	65	84	137	75	101			
A-12	17 F	バレーボール	104	59	81	99	56	77	100	59	90
A-13	17 F	バレーボール	133	69	76	123	75	75	131	62	79
A-14	17 F	バレーボール	97	64	45	92	59	72			
A-15	17 F	卓球	127	77	72	120	77	76	122	74	83
A-16	17 F	テニス	107	56	56	103	69	68	121	80	89
B-1	17 M	—	179	105	72	163	82	71			
B-2	17 M	—	142	86	80	119	71	66			
B-3	17 M	—	115	79	81	127	64	75			
B-4	17 M	—	132	42	79	126	54	99			
B-5	17 M	—	109	68	78	124	67	74	145	89	118
B-6	17 M	—	116	80	78	128	82	88	140	85	109
B-7	17 M	—	123	77	79	129	86	86	143	82	114
B-8	16 F	—	127	68	68	117	76	73	133	78	112
B-9	17 F	—	115	73	91	130	81	88			
B-10	17 F	—	137	100	102	151	91	126			
B-11	17 F	—	120	80	63	135	78	84	111	57	108
B-12	16 F	—	133	76	72	136	79	83			
B-13	17 F	—	120	66	78	123	61	84			
B-14	17 F	—	124	83	87	132	92	96	145	102	129
B-15	17 F	—	96	63	55	108	64	86			
B-16	17 F	—	86	57	77	105	57	85	122	68	99
B-17	17 F	—	103	69	73	100	63	78			
B-18	15 F	—	111	67	69	118	43	67			
B-19	17 F	—	102	63	37	110	71	72	130	88	96
B-20	17 F	—	108	71	95	120	74	100	133	82	122
B-21	17 F	—	106	79	79	77	57	91			
B-22	17 F	—	99	74	74	107	59	48			
B-23	17 F	—	111	84	84	137	62	102			
B-24	17 F	—	96	63	81	106	69	90			
B-25	17 F	—	118	67	77	127	74	86			
B-26	16 F	—	104	71	69	121	75	90	131	77	106

表中の一はクラブ活動での運動経験なし。色付き**太数字**は血圧・心拍数上昇を示す（対運動前）。また、血圧Hは最高血圧、血圧Lは最低血圧（各 mmHg）を示す。

性 10 名、女性 32 名）であった。また全被験者のうち中学および高校在学中に体育会系サークルに在籍し、3年以上の活動歴を有する生徒を「運動経験あり」、それ以外の生徒を「運動経験なし」とし、前者をA群（運動+）、後者をB群（運動-）に分け、各々記番号を付与した。なおA群（運動+）は16名（男性3名、女性13名）、B群（運動-）は26名（男性7名、女性19名）であった（表1）。

3. 方法

各被験者について、5分程度の会話後、リラックスした状態で血圧および心拍数の測定（OMRON社製、デジタル自動血圧計HEM-1000使用）を行い「運動前（安静時）」所見 [=MET (metabolic equivalent) ¹ 1.5 相当の身体活動強度] とした。次に、乗馬運動器具（大東電機工業社製、ロデオボーイ、）による騎乗運動10分間+卓球10分間、あるいは卓球15分間による軽運動を課し、運動直後に同様の測定を行い「軽運動後」所見 [=MET 4.0 相当の身体活動強度] とした。さらに協力の得られたA群（運動+）の7名（男性1名、女性6名）、B群（運動-）の10名（男性3名、女性7名）について

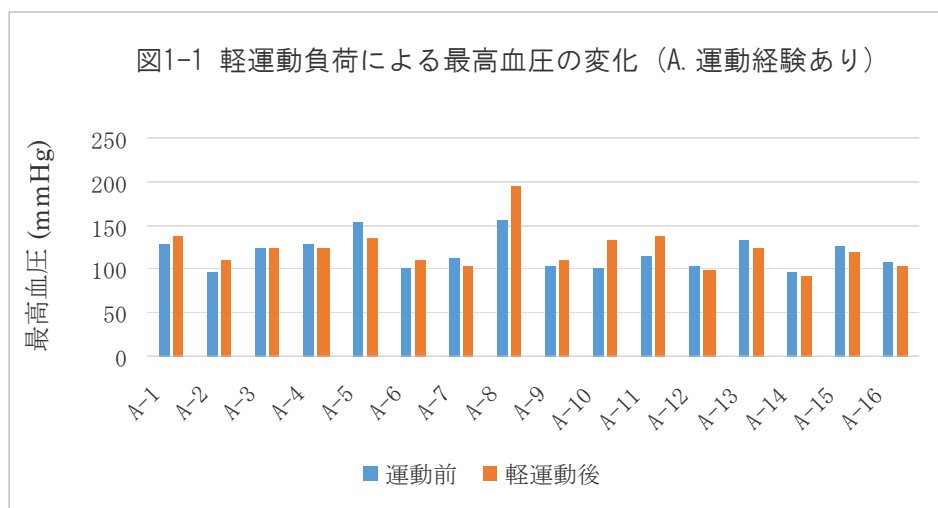
は、軽運動に加え中等度の運動（硬式テニス・ストローク練習、25~30分間）を課し、同運動直後に同様の測定を行い「中等度運動後」所見 [=MET 7.0 相当の身体活動強度] とした。

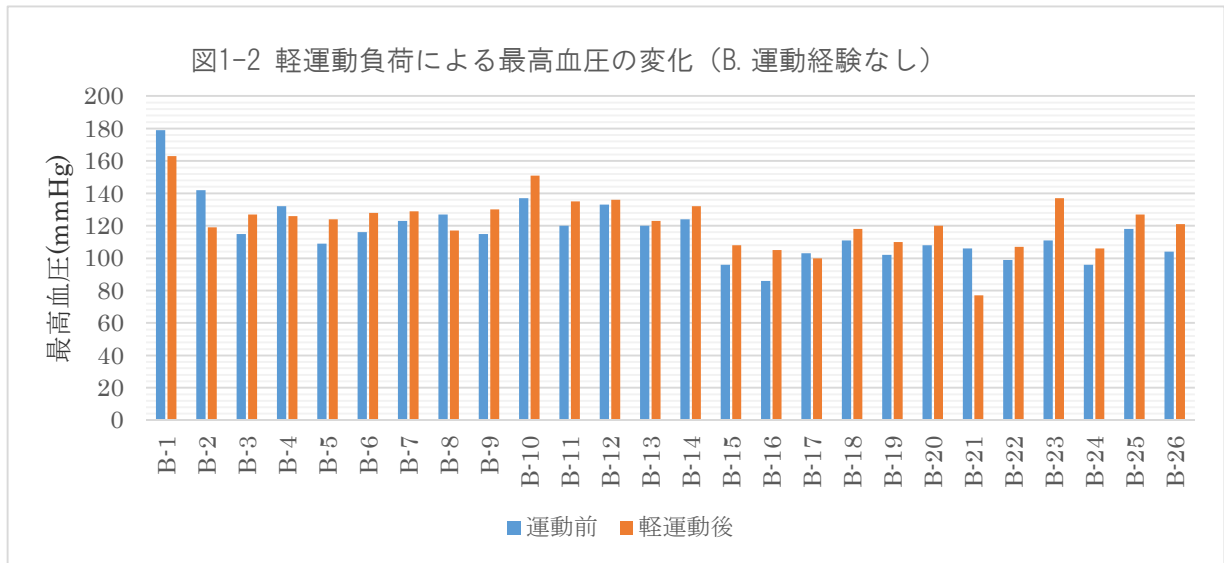
4. 結果および考察

1) 軽運動負荷による最高血圧の変化

血圧の所見については最高血圧（収縮期血圧）値を検討の指標とした。全被験者における「軽運動後」の最高血圧値上昇は27/42名（64%）に、同下降は15/42名（36%）にみられた。従って、軽運動の負荷は、約2/3の被験者に最高血圧値上昇を、また約1/3に同低下をもたらすことが判明した。なお上昇率の最高は32%増（被験者A-10）、下降率の最高は27%減（被験者B-21）であった（表1）。

次に両群間における軽運動負荷による最高血圧値の変化について比較検討したところ、A群（運動+）における最高血圧値上昇は7/16名（44%）、同下降は9/16名（56%）にみられ、B群（運動-）では、同上昇が20/26名（77%）であったのに対し、同下降は6/26名（23%）に留まり、両群間に明らかな相違が認められた（図1-1, 図1-2）。





本所見よりA群（運動+）においては、軽運動負荷により血圧下降を示す被験者が血圧上昇を示す者を上回り、過去の運動習慣の積み重ねが軽運動による血圧下降を誘導する傾向があることを示唆し、短時間の軽運動が心身のリラックス効果をもたらし、血圧低下に導く可能性があるものと考えられた。一方、B群（運動-）における8割弱の被験者に軽運動負荷による最高血圧値上昇が示された。本所見は、運動経験がないか日常の積み重ねが乏しい場合、軽運動負荷が血圧上昇を導き、健康・保健上のリスクに繋がる可能性があるものと考えられた。

2) 軽運動負荷による心拍数の変化

また全被験者における「軽運動後」の心拍数の増加は、30/42名（71%）に、同減少は12/42名（29%）にみられた。従って、軽運動の負荷は、約7割の被験者に心拍数増加を、また約3割に同減少をもたらすことが判明した。なお上昇率の最高は60%増（被験者A-14）、下降率の最高は35%減（被験者B-22）であった（表1）。

次に両群間における軽運動負荷による心拍数の変化について比較検討したところ、A群（運動+）における心拍数増加は11/16名（69%）、同減少は5/16名（31%）にみられ、B群（運動-）では、同増加が19/26名（73%）であったのに対し、同減少は7/26名（27%）で、両者間

に有意な差は示されなかった（図1-1、図1-2）。

3) 軽運動負荷による最高血圧および心拍数の関係

全被験者において、「軽運動後」の最高血圧値上昇とともに心拍数の増加が示された者は21/27名（78%）で、最高血圧値低下に連動して心拍数の減少がみられた被験者は6/15名（40%）であった。従って、運動経験の有無にかかわらず、約8割の被験者において最高血圧値の上昇に連動して心拍数の増加が認められたが、最高血圧値上昇とともに心拍数の減少がみられた者が6/27名（22%）＝約2割、そして最高血圧値低下に連動して心拍数増加がみられた被験者が10/15名（60%）＝6割に上り、とりわけ「軽運動後」の最高血圧値低下と心拍数の増減の関係については極めて不安定であることが判明した（表1、図1-1、図1-2）。

4) 段階的運動負荷に伴う最高血圧および心拍数の推移

全被験者の中で同意を得たA群（運動+）の7名（男性1名、女性6名）およびB群（運動-）の10名（男性3名、女性7名）については、軽運動直後の血圧および心拍数測定後に中等度の運動を課し、同運動直後に同様の測定を行い「中等度運動後」所見として、「運動前」、「軽運動後」および「中等度運動後」の3者について

比較検討した（表1）。

A群（運動+）における「軽運動後」の最高血圧値の上昇は7名中1名（14%）のみ、「中等度運動後」に継続して同値の上昇がみられたのは本例を加えて計2名（28%）に過ぎなかった。また「軽運動後」の同値下降は6/7名（86%）に上り、「中等度運動後」においても5/7名（72%）に同値低下が示された（図2-1A）。一方、運動に伴う心拍数増加は、「軽運動後」が

4/7名（57%）、「中等度運動後」が6/7名（86%）であった（図2-1B）。またB群（運動-）においては、10名中9名（90%）に「軽運動後」および「中等度運動後」の最高血圧値上昇が示され、これらの運動後における同値低下は各1名（各10%）にみられるに過ぎなかった（図2-2A）。一方、心拍数については、「軽運動後」が9/10名（90%）に、「中等度運動後」には全員（100%）に増加がみられた（図2-2B）。

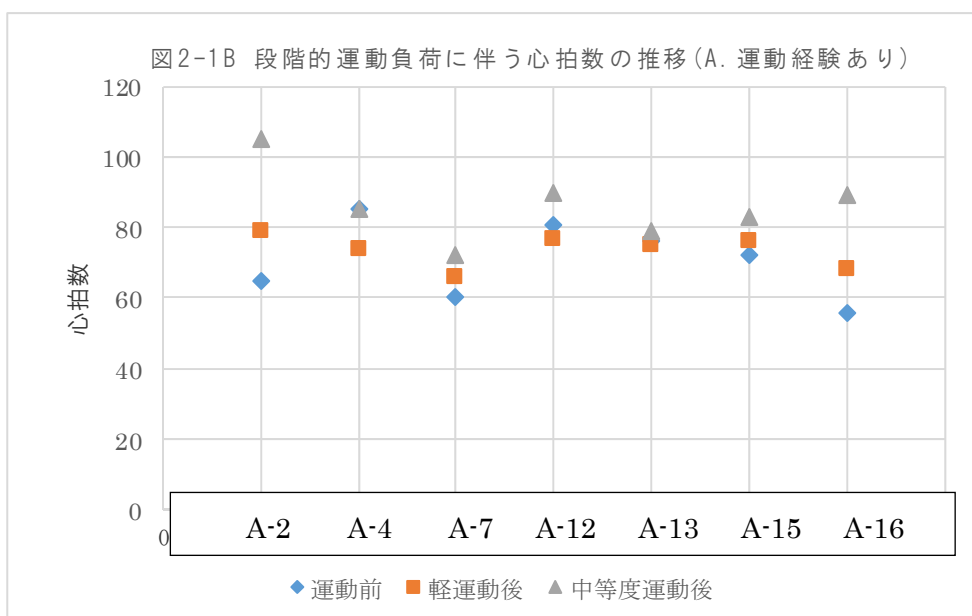
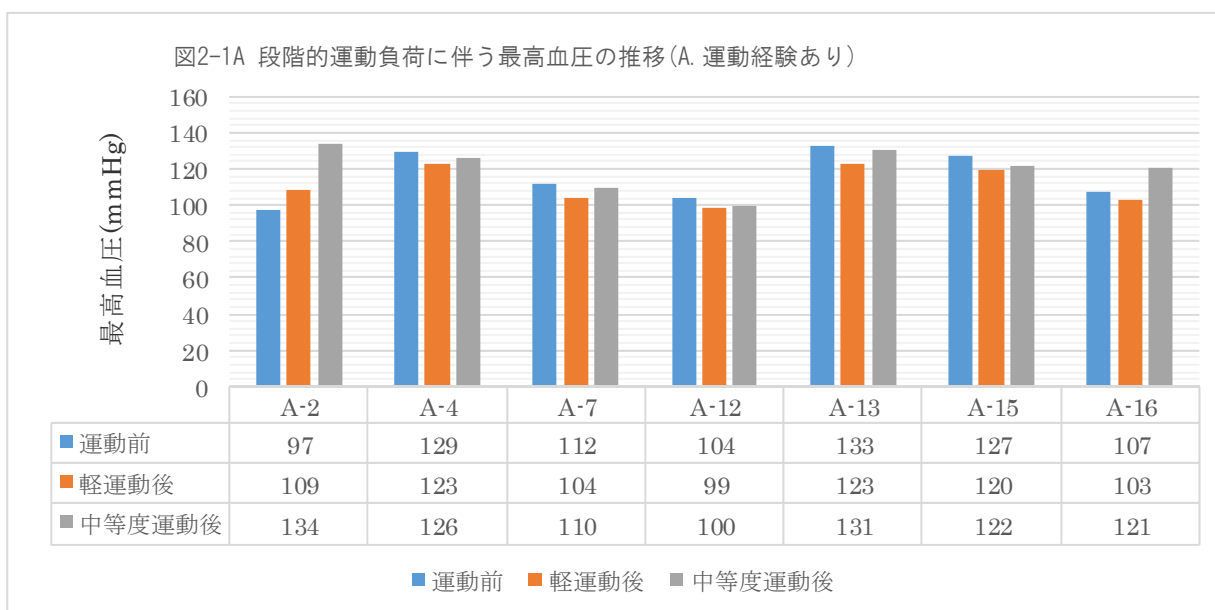


図2-2A 段階的運動負荷に伴う最高血圧の推移 (B. 運動経験なし)

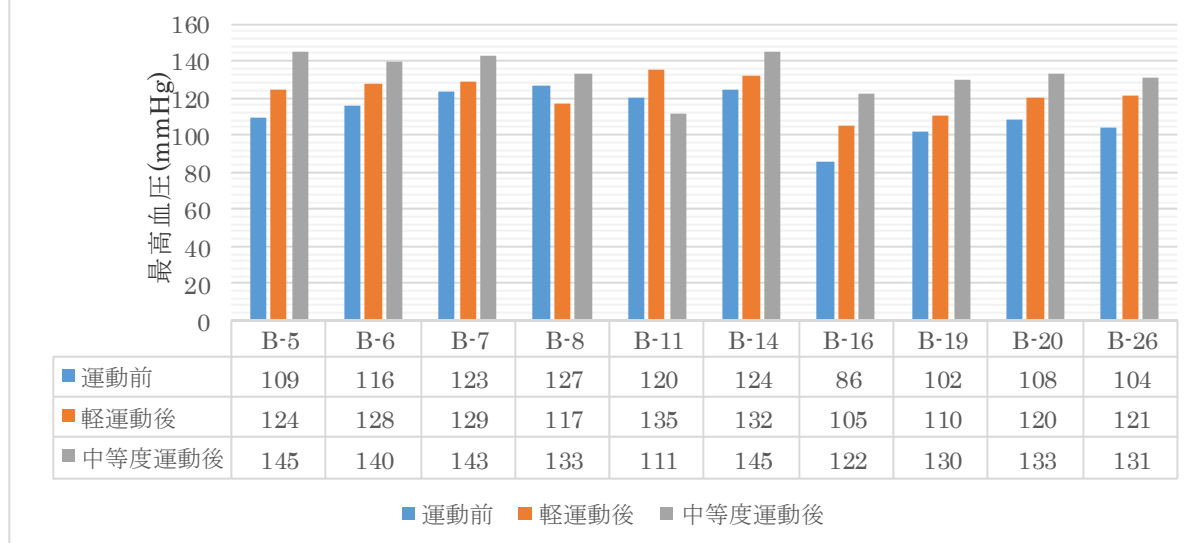
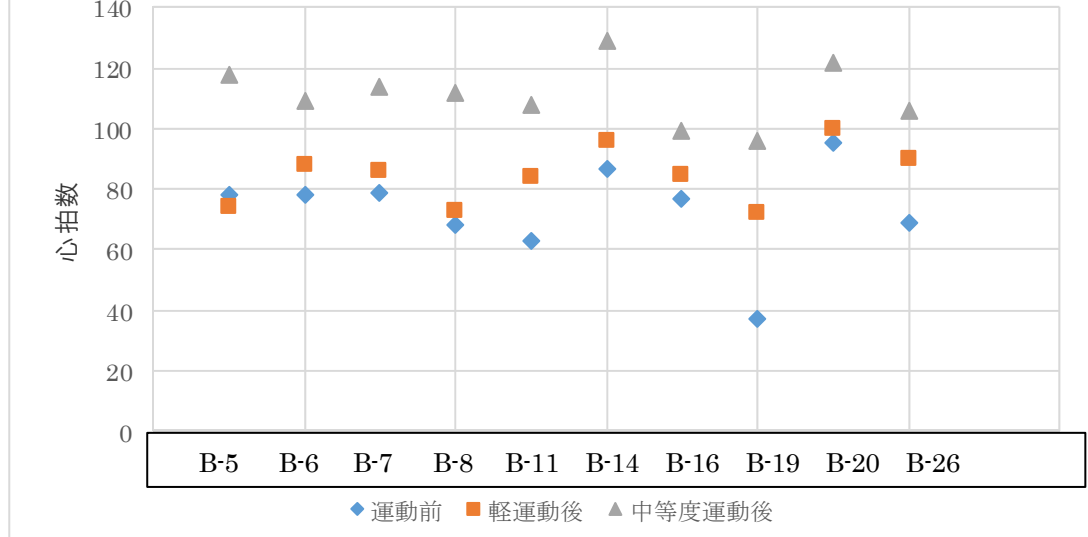


図2-2B 段階的運動負荷に伴う心拍数の推移 (B. 運動経験なし)



5) 段階的運動負荷に伴う最高血圧および心拍数各平均値の推移

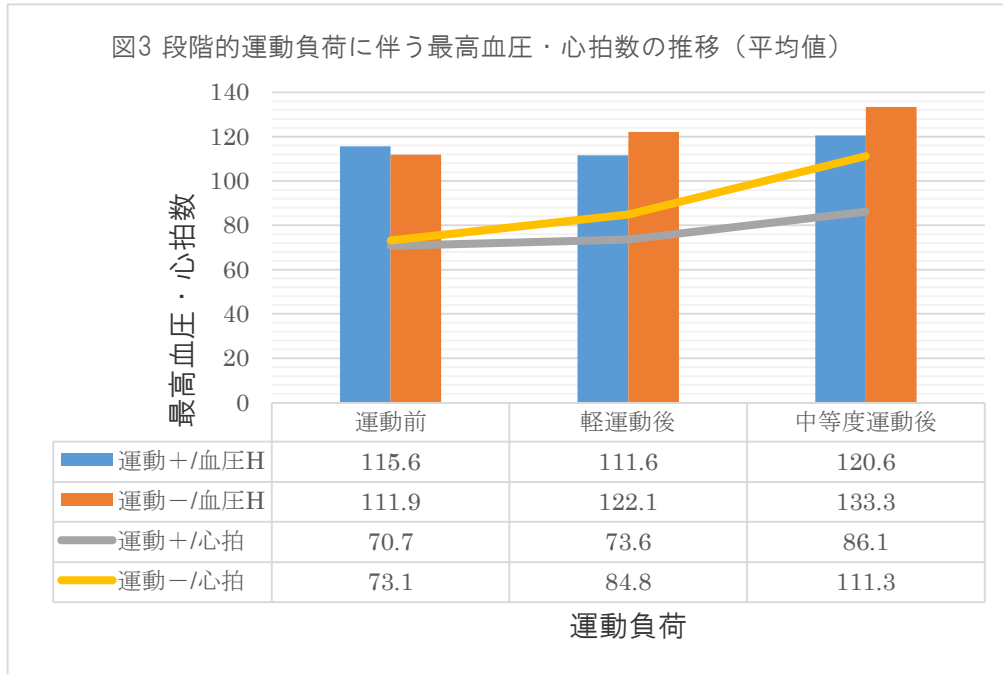
次に、上記A群（運動+）およびB群（運動-）における最高血圧および心拍数の平均値の推移について検討した。最高血圧の平均値 (mmHg) は、A群（運動+）で「運動前」:115.6、「軽運動後」:111.6 (3.5%低下)、「中等度運動後」:120.6 (7.5%上昇)と「軽運動後」に一旦低下してから「中等度運動後」に上昇に転じたのに対し、B群（運動-）では、「運動前」:111.9、「軽運動後」:122.1 (8.4%上昇)、「中等度運動

後」:133.3 (8.4%上昇)と段階的（比例的）上昇がみられ、A群（運動+）に比べて上昇幅が大きかった。

また心拍数の平均値については、A群（運動+）で「運動前」:70.1、「軽運動後」:73.6 (4.8%増)、「中等度運動後」:86.1 (14.5%増)と増加傾向が示され、B群（運動-）においても、「運動前」:73.1、「軽運動後」:84.8 (13.8%増)、「中等度運動後」:111.3 (23.8%増)と増加傾向がみられた。心拍数については、両群とも一貫した増加傾向を示したが、両者を比較すると、

A群（運動+）では「軽運動後」の心拍数増加率が4.8%と軽微であるのに対し、B群（運動-）では13.8%と約3倍近い心拍数の増加率を呈した。「運動前」と「中等度運動後」の心拍数

の増加率を比較した場合、前者が19.3%であったのに対し、後者は37.6%に達し、B群（運動-）はA群（運動+）に比べて2倍近い増加率となった（図3）。



以上の所見より、「運動前」、「軽運動後」、「中等度運動後」と段階的な運動負荷増強により、総じて最高血圧値の上昇に連動して心拍数の増加が示されたが、A群（運動+）における「軽運動後」所見において、最高血圧値および心拍数の変動が軽微であったことを勘案すると、過去の運動習慣の積み重ねが潜在的基盤となり、軽運動を行うことによる情動の安定化や心身のリラックス効果が誘導され、血圧と心拍数を安定化に導くものと考えられる。一方、B群では軽運動負荷の段階で最高血圧値の上昇傾向が示され、中等度の運動負荷が加わることで、最高血圧値および心拍数の上昇幅が大きくなることが判明した。従って、過去の運動経験や日常の運動志向が乏しい場合、健康・保健上リスクの増大を招来する可能性があるものと思われる。さらにA群においては、中等度の運動負荷が加わった際においても、血圧および心拍数の変動が軽度であったことから、定常的な有酸素運動が血圧の安定化と変動（上下動）の抑制を

もたらし、血液循環動態の改善や高血圧予防の観点からも健康維持・増進に欠かせない方策であると言える。



〈写真：参加学生らと著者。テニスコートにて〉

6) 運動による生理学的変化のメカニズム

運動時は、諸器官が酸素供給を必要とすることから心拍数が増加し、血圧を上昇させて送血量、すなわち循環血液量を急激に増やす必要性が生じる。運動後は、酸素を多量に運搬する必要がなくなり、心拍数の減少により循環血液量

を減らし、心拍数は徐々に安静時の値まで戻る。また、運動負荷（運動量）を増すと、血圧と心拍数の上昇が著明になり、その場合、回復に時間を要するものと考えられる。

このように、運動負荷による心拍数と血圧の上下動には同調性が示され、本研究においても概ね同様の所見が示された。しかし、運動負荷後に心拍数と血圧値が共に低下した例や、両者の同調が示されなかった例も散見された。運動中は、酸素や栄養分の補給が消費に追いつかなくなるため、心拍数と血圧を上げて虚血、すなわち酸素欠乏にならないように備える。しかし、普段から運動習慣を有する場合は、同習慣が無いか乏しい場合と比較して、既に運動負荷状態が日常生活における活動の一部として同化している。従って、軽運動程度あるいは中等度運動の負荷が加わったとしても、血液循環量を急激に増やす必要性が生じなくなることから、運動時の心拍数減少に伴う血圧低下が招来され、また、心拍数と血圧間の不調和がみられる可能性がある。こうした傾向は、定常的に行っている運動の強度が、今回行ったような軽運動や中等度運動の運動強度を上回る場合に顕著となるものと考えられ、逆に、運動習慣が乏しい程、例え軽運動負荷であっても、心拍数増加や血圧上昇を招きやすいものと推察される。従って、普段からの運動習慣が日常の血圧および心拍数の安定効果、すなわち、高血圧抑制効果に繋がるものと考えられる。また、運動時の心拍数および血圧の不安定、あるいは両者間の不調和を来す要因としては、運動中の情動の変化（楽しい、試合で緊張する、叱責されたなどのストレス）、環境因子（暑さや寒さ、湿度）、および内因性因子（体温、代謝状態、内分泌、水分の過不足、塩分摂取、喫煙、アルコール、体調変化他）などが挙げられる。

7) 日常的な身体活動（生活活動・運動）強化が心身の健康維持・増進の基盤となる

WHO は、全世界の死亡原因に対する危険因子

の1位を高血圧（13%）、2位：喫煙（9%）、3位：高血糖（6%）、4位：身体活動（生活活動・運動）不足（6%）としており²、青年層からの基盤づくりが大切である。トップの高血圧予防には、2位以下の因子が全て関連しており、特に、身体活動不足に対する対応が求められる。WHO は、その対策として「健康のための身体活動に関する国際勧告」を発表しており、その中で、各年齢群（5-17歳、18-64歳、65歳以上）に対する有酸素性身体活動の時間と強度に関する指針を提示している³。

日常的な身体運動は、気分転換やストレス解消になることから、メンタルヘルス上の一次予防としても有効である⁴。また、中等度～強度の有酸素運動が、上気道感染症、即ち風邪の罹患リスクを低減させると考えられている⁵。一方で身体運動の不足は肥満や生活習慣病の危険因子と成り得る⁶。寺山⁷は2011年3月に発生した東日本大震災後の住民定期検診で、40歳以上の岩手県内地域住民の60%は、収縮期（最高）血圧が発災直後から140mmHg以上と高めで、震災後の不安定な状況が、高血圧、脂質異常症、糖尿病などの生活習慣病に与えるインパクトは予想以上に強く、また長期に及ぶとしている。その原因として、塩分摂取量、過栄養や運動不足などを挙げており、将来、脳卒中の誘因と成り得ると考えられることから注意を喚起している。また治療面からも、糖尿病、高血圧症、脂質異常症に対する身体活動の効果は明確であり⁸、健康維持・増進の観点から日常の身体活動を強化する必要がある。

5. 今後の展望

今回、参加協力して頂いた被験者のうち体育会系サークルに在籍し、3年以上の活動歴を有する「運動経験あり」の生徒は38%であった。従って、6割以上の生徒は「運動経験なし」という現状である。20～30代の成人で運動に積極的に取り組む人が30%前後であることを勘案すると、過去、サークル活動を経験したことの

ある方々が、その経験を活かして様々なスポーツに取り組んでいる姿が目に見えぬ。しかし、あまり運動経験のない生徒たちは、招来、積極的に運動志向に成り得るだろうか？ 危惧されるところである。

わが国においては、超高齢化と少子化と医療の質的向上などの影響から、国民の医療・社会保障費は、国家予算を凌駕する状況で拡大し、毎年1兆円以上の積み増しを余儀なくされている。そのまま赤字国債を「増殖」させている現状を打破するためには、生活習慣病の予防に注力する必要がある。しかし、実質上、40歳未満は域外にある状態で、出来上がってしまったものを復元するのは手間暇のかかる作業で、効率も頗る悪い。

因みに、本研究の対象となった被験者の約1割が安静時高血圧（Ⅰ度＝軽度：3名、Ⅱ度＝中等度：1名）で、1名は「運動経験あり」であったが、「軽運動後」に最高血圧が200mmHg近くに上昇し、中等度運動へ誘導できなかった経緯もある。従って、若いうちから生活習慣病予防に重点を置き、「体を動かせば心も動く」ことを含め、青少年における心身の安定化を図ることに繋げられよう。以上の観点から、中学・高校における身体活動、すなわちスポーツに対する取り組みに官民あげてもっと注力すべきであると考えられる。

[参考文献]

1. 厚生労働省：標準的な健診・保健指導の在り方に関する検討会 第4回資料：健康づくりのための運動指針。身体活動・運動の単位 2006.

<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2006/11/s1109-5g.html>.

2. Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva, World Health Organization, 2009.

3. Global recommendations on physical activity for health. Geneva, World Health Organization, 2010.

4. Rosenbaum S and Sherrington C. Is exercise effective in promoting mental well-being in older age? A systematic review. Br J Sports Med. 2011 45: 1079-80.

5. Martin SA, Pence BD, et al. Exercise and respiratory tract viral infections. Exerc Sports Sci Rev. 2009 37: 157-64.

6. Haskell WL, Lee IM et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of sports Medicine and the American Heart Association. Circulation. 2007 116: 1081-93.

7. 寺山 靖夫. 東日本大震災 生活習慣病へのインパクト. 成人病と生活習慣病. 42 巻: 588-92

8. 厚生労働省：標準的な健診・保健指導の在り方に関する検討会 第5回資料：運動・身体活動を指導する際のリスクマネジメント 2007. <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/02/s0219-4c.html>.