

体操の腹腔内圧測定

荒木達雄*・園田高一*・青山敏彦*
上野裕一**・鈴木正保***

(昭和 60 年 6 月 30 日受付)

Intra-Abdominal Pressure Measurement During Gymnastic Exercises

Tatsuo ARAKI, Koichi SONODA, Toshihiko AOYAMA,
Yuichi UENO and Masayasu SUZUKI

Predecessors in intra-abdominal pressure (IAP) measurement studies have been working mainly in the field of ergonomics. They made investigations into human postures by means of IAP measurement to prevent human body from injuries derived from incorrect working postures. In this study we made an IAP measurement during 42 fundamental gymnastic exercises to investigate stresses to be generated while exercising gymnastics. A pressure sensitive radio pill a radio pill receiver, a DC amplifier, a four-channel cassette data recorder, and a thermal recorder were used in the measurement. Three collegiate gymnasts volunteered as subjects. IAPs of the 42 fundamental gymnastic exercises varied from 0 mmHg to 103.3 mmHg and a similar changing trend from one exercise to another was recognized in three subjects. IAPs of static exercises of arms and legs were up to 10 mmHg in the mean value of three subjects. The bigger movement of arms and legs in gymnastic exercises were performed, the higher IAPs of these exercises appeared. IAPs of exercises which involve movements of spine, such as jumping with closed legs, jumping with legs opened and closed alternately, backward bending of the trunk, and vertical trunk circling and horizontal trunk circling were more than 30 mmHg in the mean value of three subjects. The exercise of vertical circling of the trunk brought about the maximum IAP (92.5-103.3 mmHg) in the 42 exercises. This exercise seemed to be a compound of the backward bending of the trunk and vertical circling of the trunk. The sum of the IAPs of both exercises just matched to the IAP of the vertical circling of the trunk.

はじめに

腹腔内圧 (intra-abdominal pressure: IAP 以降 IAP と呼ぶ) は、欧米では労働科学の分野で腰痛を予防する方法を模索する為の手段として測定されている^{6,7,8)}。これらは IAP を身体の内的ストレスの上限を見出す為の指標として用い、傷害を予防するという立場に立っている。我々は傷害予防という立場ではなく、ヒトの身体が種々の運動を行っている際、どのような内的ストレスに接するか、あるいは、曝されるかという実体を、具体的に IAP という数値で把握し、身体の強度、効率の改善、改悪が数値としてどのように表現されるかという立場に立つものである。

本研究は体操の多種に渡る運動の IAP を測定し、体

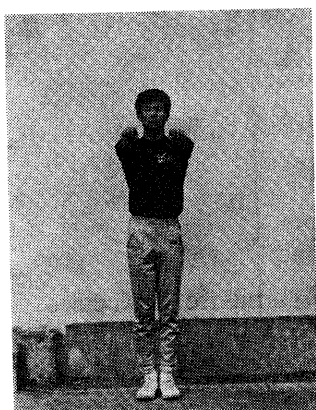
操実施時の内的ストレスの実体を IAP の面から明らかにすることを目的とした。

方 法

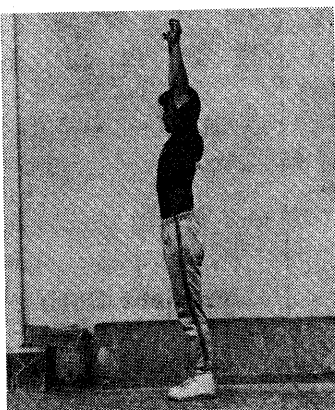
日常行われる体操は、身体を便宜上、腕、脚、胸、体側、背腹、腰、首部、に分け、それら各部位の独立した運動と複数の部位を組み合わせた複合運動から成る。運動の形式は屈伸、回旋、振る、挙げる、捻転、跳躍があり、運動姿勢は、立位、座位、臥位、がある。今回は立位の運動のみ実施した。

本研究は上記 7 部位の中から首部を除いた 6 部位の基本運動種目を取り上げ、それぞれの運動中の IAP を測定した。

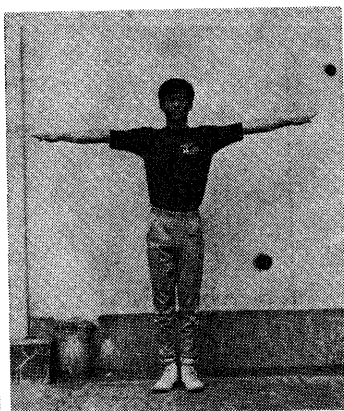
* 体操 I 研究室, ** 大学院体力学コース, *** キネシオロジー研究室.



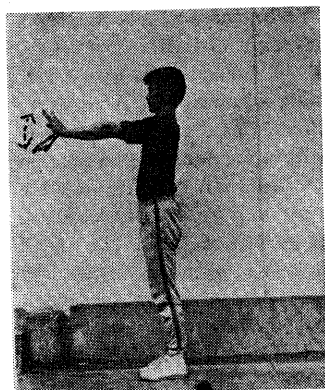
1 両腕前拳



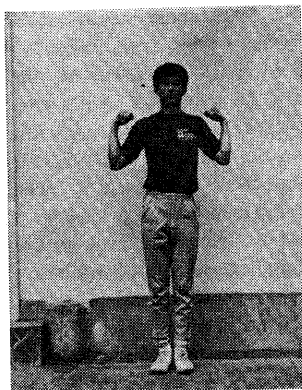
2 両腕上拳



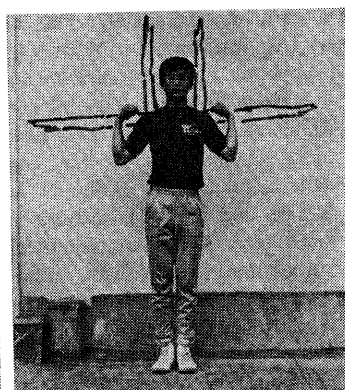
3 両腕側拳



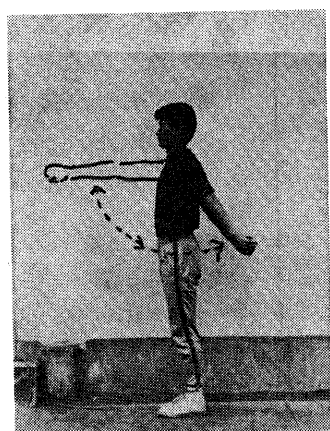
4 手首屈伸



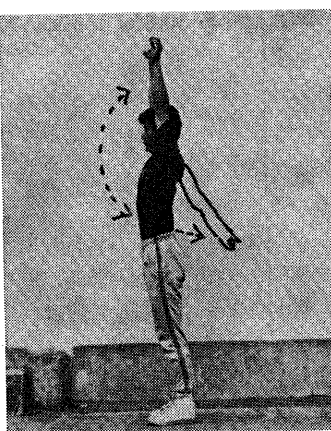
5 両腕屈伸



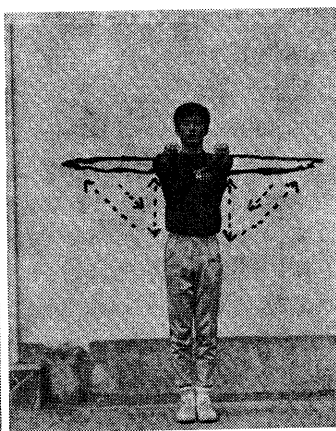
6 前・上・側屈伸



7 両腕前後振

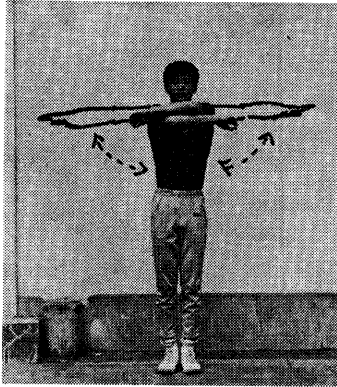


8 両腕上振

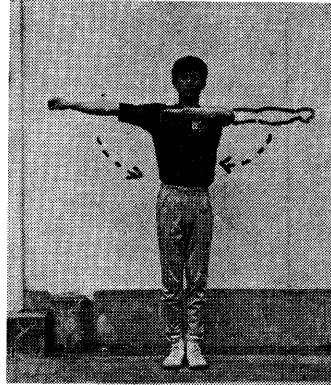


9 両腕前側振

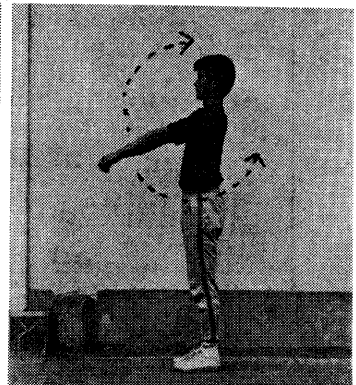
図 1-a. 体操の基本運動



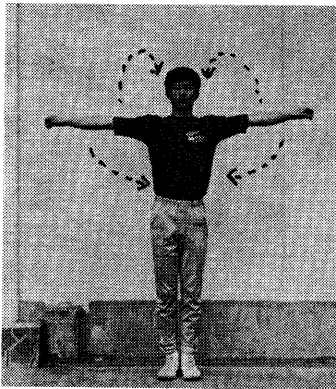
10 前交差横振



11 両腕側振



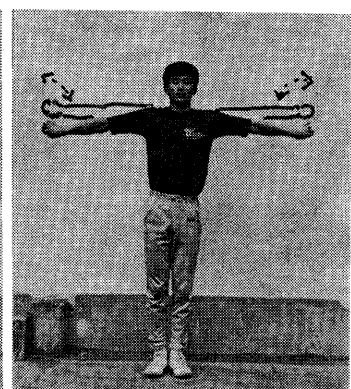
12 両腕前後回旋



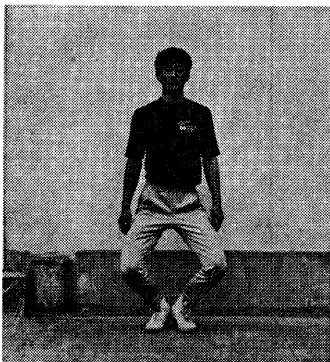
13 内外回旋



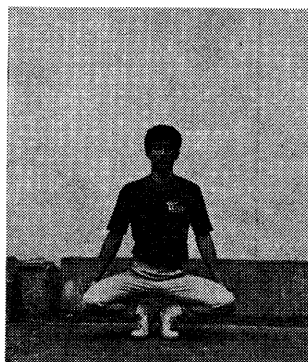
14 両腕平行回旋



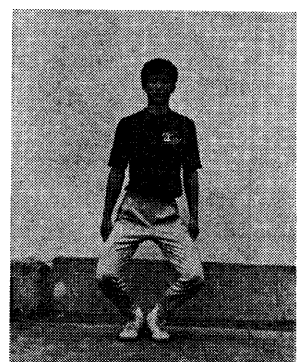
15 両腕捻転



16 拳踵半屈伸

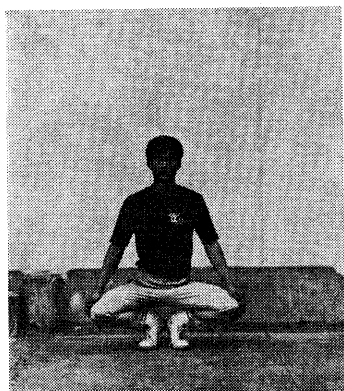


17 拳踵全屈伸

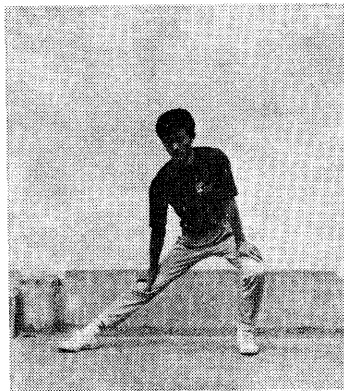


18 半屈伸

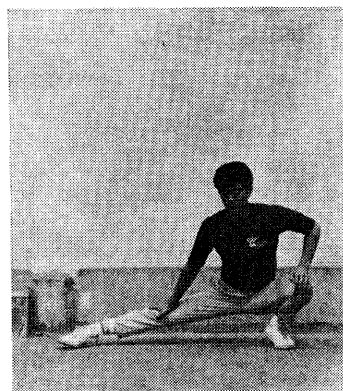
図 1-b. 体操の基本運動



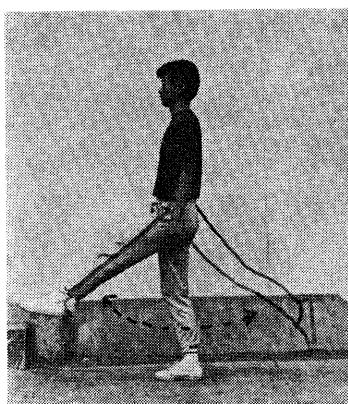
19 全 屈 伸



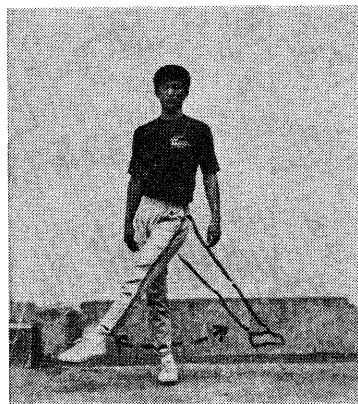
20 開脚片脚半屈伸



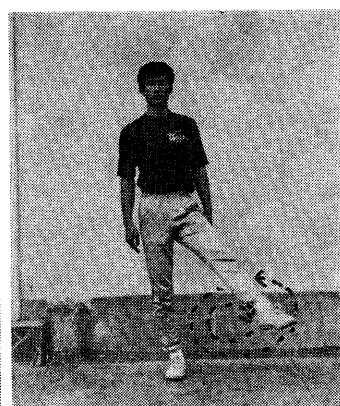
21 開脚片脚全屈伸



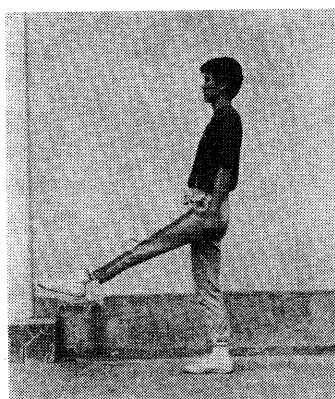
22 片脚前後振



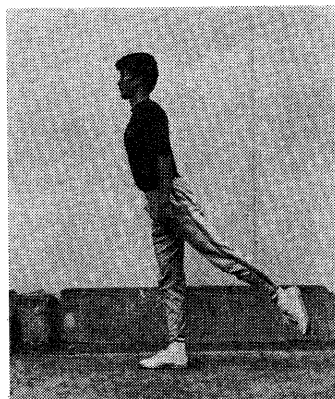
23 片脚左右振



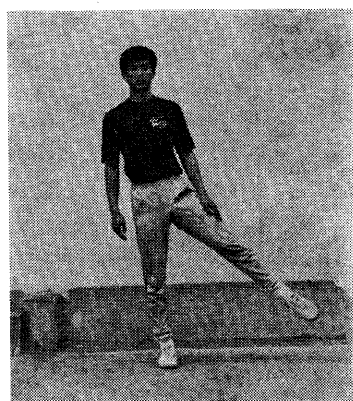
24 片脚回旋



25 片脚前拳

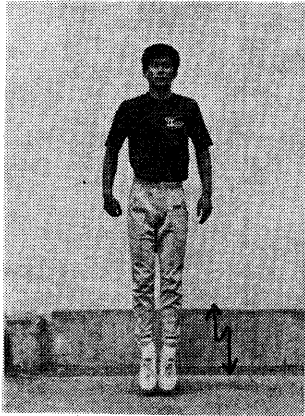


26 片脚後拳

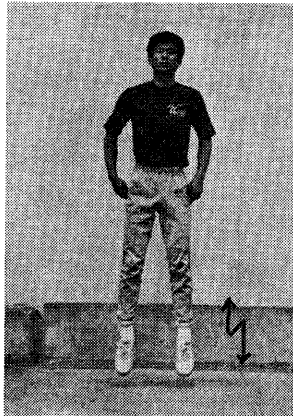


27 片脚側拳

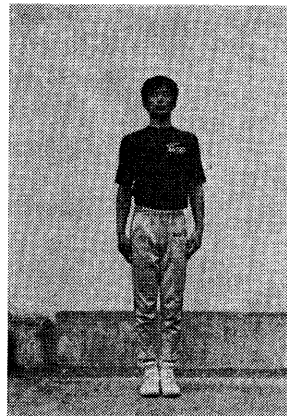
図 1-c. 体操の基本運動



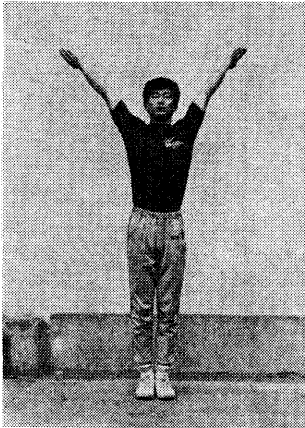
28 閉脚跳躍



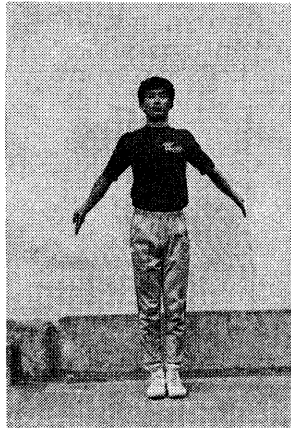
29 開閉脚跳躍



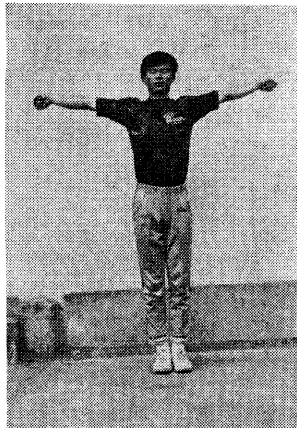
30 胸伸展



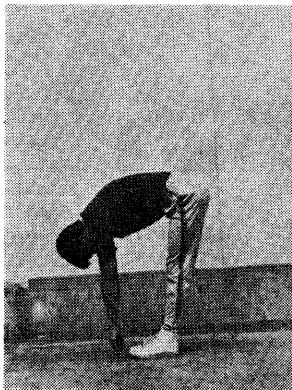
31 胸伸展(両腕45°上挙)



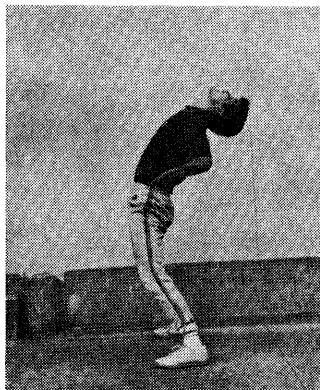
32 胸伸展(両腕45°下挙)



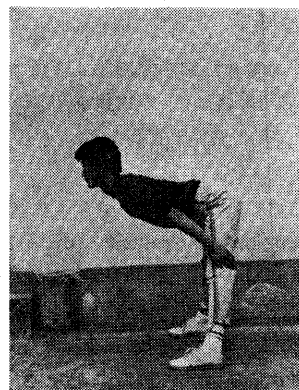
22 胸伸展(両腕側開)



34 体前屈

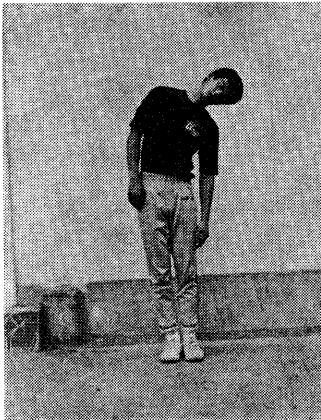


35 体後屈

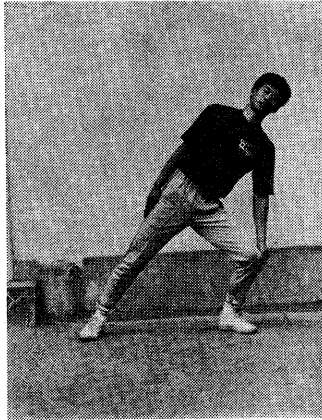


36 体前倒

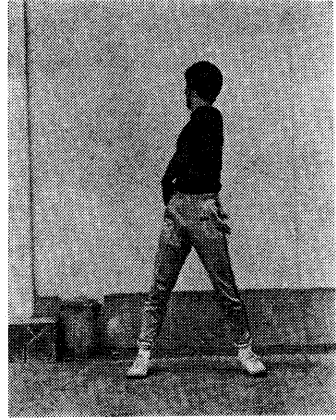
図 1-d. 体操の基本運動



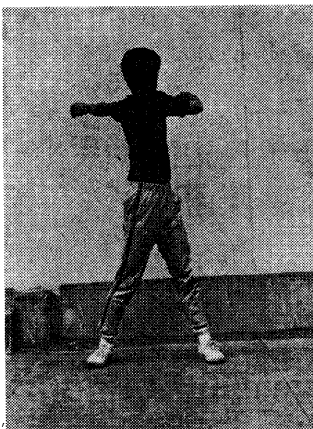
37 体側屈



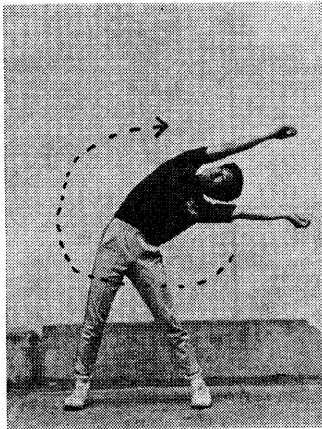
38 体側倒



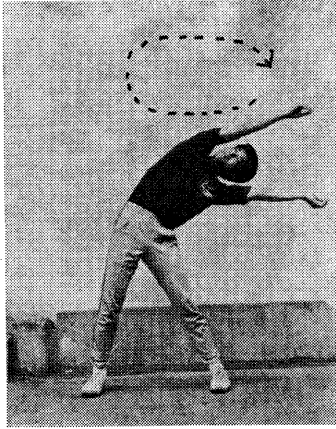
39 体捻転



40 体捻転(両腕前挙)



41 体回旋



42 体回旋(後方に大きく反る)

図 1-e. 体操の基本運動

基本運動と名称を図 1 に、運動内容をそれらに加えたものを表 1 に示した。図 1 写真内には該当箇所の運動方向を矢印で示した。

IAP 測定の対象は本学体操部に所属する男子学生 3 名(平均身長 167.0 cm, 平均体重 62.0 kg)であり、42 種類の基本運動は日常的に行っている為よく理解され、実施し慣れていた。

IAP 測定には、リモート・コントロール・システム社 (Remote Control Systems Ltd.) 製圧力ラジオピル 7014 型 (pressure sensitive radio pill type 7014), リーゲル社 (Rigel Research Ltd.) 製ラジオピルレシーバー 7040 型 (radio pill receiver model 7040)⁹⁾, 日本光電製直流増幅アンプ (AD 601 G), 日本光電製 4 チャンネルカセットデータレコーダー (RMG 5204) を用いた (図 2)。

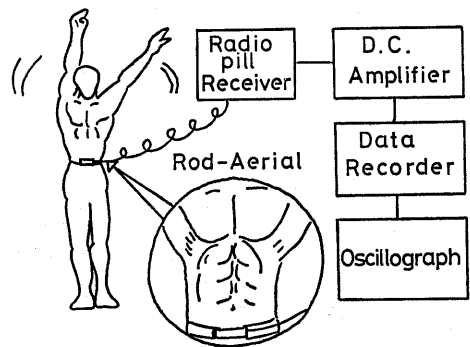


図 2 体操の腹腔内圧測定の様式図

表 1 体操の基本運動：その運動内容

運 動 内 容		
1	両腕前挙	両腕を前に挙げ静止する
2	両腕上挙	両腕を上へ挙げ静止する
3	両腕側挙	両腕を側方に挙げ静止する
4	手首屈伸	両腕を前に挙げ手首を上下にまげる
5	両肘屈伸	肘のまげ伸しをする
6	前・上・側屈伸	肘のまげ伸しをして両腕を前・上・側に挙げる
7	両腕前後振	両腕を前と後に振る
8	両腕上振	両腕を後方より上へ振りあげる
9	両腕前側振	両腕を前から体側・側方へと振る
10	前交差横振	両腕を前で交差してから側方へ振る
11	両腕側振	両腕を左右同方向へ振る
12	両腕前後回旋	両腕を前と後へ回旋する
13	内外回旋	両腕を前で交差してから回旋する
14	両腕平行回旋	両腕を左右同方向に回旋する
15	両腕捻転	両腕を側方に挙げ肘を伸し肩関節を中心に捻転する
16	拳踵半屈伸	閉脚で踵を挙げ半屈膝する
17	拳踵全屈伸	閉脚で踵を挙げ全屈膝する
18	半屈伸	閉脚で半屈膝する
19	全屈伸	脚閉で全屈膝する
20	開脚片脚半屈伸	開脚で膝に手をあて片脚ずつ交互に半屈膝する
21	開脚片脚全屈伸	開脚で膝に手をあて片脚ずつ交互に全屈膝する
22	片脚前後振	片脚を前と後に振る
23	片脚左右振	片脚を左右に振る
24	片脚回旋	片脚を回旋する
25	片脚前挙	片脚を前に挙げ静止する
26	片脚後挙	片脚を後に挙げ静止する
27	片脚側挙	片脚を側方に挙げ静止する
28	閉脚跳躍	閉脚で跳躍する
29	開閉脚跳躍	開脚閉脚交互に跳躍する
30	胸伸展	肩を反らして胸を伸展する
31	胸伸展 (両腕斜 45° 上挙)	両腕を斜 45° 上に挙げ胸を伸展する
32	胸伸展 (両腕斜 45° 下挙)	両腕を斜 45° 下に挙げ胸を伸展する
33	胸伸展 (両腕側開)	両腕を前に振りあげ側方に開き胸を伸展する
34	体前屈	体を前にまげる
35	体後屈	体を後にまげる
36	体前倒	背すじを伸し体を 90° 前に倒す
37	体側屈伸	体を左右にまげる
38	体側倒	背すじを伸して片脚を横に出し屈膝して体を側方に倒す
39	体捻転	体を左右にねじる
40	体捻転 (両腕前挙)	両腕を前に挙げて、左右にねじる
41	体回旋 (前に円)	両腕を上へ挙げて体を後に反らせないで回旋する
42	体回旋 (上に円)	両腕を上へ挙げて体を後に大きく反らせ回旋する

測定に先立ち、ラジオビルの⁹⁾は 37°C に保たれた恒温槽内で、260 mmHg まで 20 mmHg 毎のキャリブレーションを行なった。ビルはキャリブレーション終了後、恒温槽内より外気による温度変化を避けるために素早く取り出し、被検者の口腔内に運ばれ、コップに用意された 37°C の湯と共に体内に呑み込まれた。

ビルからの信号を傍受する棒状アンテナ⁹⁾は、ビニールテープでベルトに取りつけ、被検者の腰部に装着した。被検者は板張りの床の体育館内で、半袖シャツにトレーニングズボン、裸足ですべての運動を行った。

42 種類の運動は表1に示された運動番号順に行った。静止動作のある運動は静止を少なくとも 2 秒間継続し、

それを3回以上繰り返した。連続動作から成る運動は最低6呼間その動作を繰り返した。運動前, 運動中, 運動後のIAPのアナログ記録は, データレコーダーにすべて記録し, 42種類の運動が終了した後, 日本光電製サーマルアレイレコーダー (WS-681 G) により再生し, キャリブ

レーション記録を元に作成したスケールで各運動実施時のそれぞれの最大 IAP 値を記録波形より読み取った。

結 果

運動実施時に発現した IAP は, 各運動1呼間毎の最

表2 体操の腹腔内圧 (IAP) と最大努責 (MVAP)

Gym. No.	S	I	W	Mean
IAP (mmHg)				
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	5.0	5.0	3.3
3	0.0	0.0	2.5	0.8
4	0.0	0.0	2.5	0.8
5	0.0	0.0	2.5	0.8
6	0.0	5.0	0.0	1.7
7	5.0	5.0	6.3	5.4
8	16.6	10.0	16.3	14.3
9	10.0	5.0	10.0	8.3
10	7.5	10.0	5.0	7.5
11	10.0	10.0	10.0	10.0
12	17.3	10.0	10.0	14.6
13	7.5	5.0	10.0	7.5
14	15.0	15.0	15.0	15.0
15	3.8	5.0	2.5	3.8
16 negative	10.0	10.0	10.0	10.0
17 negative	15.0	20.0	10.0	15.0
18	10.0	10.0	10.0	10.0
19	12.5	15.0	10.0	12.5
20	7.5	10.0	5.0	7.5
21	15.3	10.0	16.7	14.0
22	7.8	10.0	7.8	8.3
23	10.0	10.0	10.0	10.0
24	5.0	10.0	10.0	8.3
25	5.0	5.0	2.5	4.2
26	3.8	5.0	2.5	3.8
27	8.3	6.7	10.0	8.3
28 negative	52.1	33.5	29.4	38.3
29 negative	33.2	38.5	33.4	35.0
30	10.0	10.0	5.0	8.3
31	5.0	22.5	10.0	12.5
32	5.0	17.5	5.0	9.2
33	12.5	15.0	10.0	12.5
34	10.0	10.0	15.0	11.7
35	64.4	51.3	77.5	64.4
36 negative	5.0	5.0	8.3	6.1
37	10.0	10.0	26.3	15.4
38	10.0	15.0	20.0	15.0
39	10.0	9.0	12.5	10.5
40	26.0	27.9	20.0	24.6
41	31.7	31.7	31.3	31.6
42	92.5	92.5	103.3	96.1
MVAP	180	190	—	—

大値を測定し、その最大値の平均をもってそれぞれの運動の IAP とした。表 2 に各被検者の運動毎の IAP と、3 人の平均値を示した。運動番号 1~42 の IAP を各被検者についてみると、絶対値に個人差は認められるものの、その変化傾向は一致していることが認められた。1~7 に於ける腕部の運動では各被検者共に IAP はいずれも 10 mmHg 以下を示した。それに比較し 8~14 では 1~7 に比べ、腕部の運動量の大きさに比例し IAP が大きい。16, 17 の拳踵半、全屈伸では膝の屈曲時の IAP に陰圧が認められた。

本研究使用のラジオピルは陽圧測定を目的としており、陽圧の変化と記録の間には高いリアリティーがある⁹⁾。陰圧測定に対してはリアリティーが低く、ゼロ点への復帰も不安定であるため、正確な陰圧測定はできない。従って本研究では、陰圧の出現に対してはその数値を示さず、表 2 中に「negative」とのみ示した。

脚を左右に拮げて行う 18~21 の運動は 8~14 の腕の運動とはほぼ等しい値が測定された。22~27 の脚の動きの少ない運動では、各被検者で 2.5~10 mmHg という値が認められた。跳躍運動である 28, 29, は 27 以下の運動に比べ 29.4~52.1 mmHg と大きな値が測定された。16, 17 で認められた陰圧相がここでも身体落下時に認められた。

胸部の運動である 30~33 では、被検者 I の胸張り以外は低値を示した。背腹部の運動 3 種はそれぞれに特徴的であった。すなわち、34 の体前屈は 10~15 mmHg, 35 の体前屈は 51.3~77.5 mmHg, 36 の体前倒は 5~8.3 mmHg かつ陰圧相が認められた。

体側部の運動である 37, 38 は、W に他の 2 名とは異った値が認められた。39~42 の腰部の運動では、捻転と回旋に差が認められ、特に上に円を描く体回旋では 42 種類の運動中最高値が 3 名の被検者全員に認められ、その値は 90~100 mmHg であった。

論 議

3 名の被検者のうち I と W に、すべての運動の IAP 測定終了後、両足を片幅に開いた直立の姿勢で最大努責 (MVAP: Maximum Voluntary Abdominal Press) を 3 回行ってもらい、最大値を MVAP としたが、I で 180 mmHg, W で 190 mmHg であった。筆者らが行った IAP 測定の結果では、重量挙げ選手の MVAP で 296 mmHg¹¹⁾ 柔道選手で 268 mmHg¹¹⁾、相撲選手で 280 mmHg¹¹⁾ という値が得られており、これらに比較すると I と W の値は小さい値であるといえる。

表 3 体操の腹腔内圧の最大努責に対する百分率

Gym. No.	IAP (%)	
	I	W
1	0	0
2	2.8	2.6
3	0	1.3
4	0	1.3
5	0	1.3
6	2.8	0
7	2.8	3.3
8	5.6	8.6
9	2.8	5.3
10	5.6	2.6
11	5.6	5.3
12	5.6	8.6
13	2.8	5.3
14	8.3	7.9
15	2.8	1.3
16	5.6	5.3
17	11.1	5.3
18	5.6	5.3
19	8.3	5.3
20	5.6	2.6
21	5.6	8.8
22	5.6	3.7
23	5.6	5.3
24	5.6	5.3
25	2.8	1.3
26	2.8	1.3
27	3.7	5.3
28	18.6	15.5
29	21.4	17.6
30	5.6	2.6
31	12.5	5.3
32	9.7	2.6
33	8.3	5.3
34	5.6	7.9
35	28.5	40.8
36	2.8	4.4
37	5.6	13.8
38	8.3	10.5
39	5	6.6
40	15.5	10.5
41	17.6	16.5
42	51.4	54.4

表 3 に I と W の MVAP それぞれを 100 とした時の 1~42 の運動の IAP を % 表示した。表 2 に見られたのと同様、腕、脚、胸、背腹、体側、腰、それぞれの運動に於て 2 名の被検者に同様の変化傾向が認められた。

結果に見られたように、腕部、脚部の運動では動きが

大きくなるにつれ IAP の上昇が認められた。腕部については動きが大きくなること、腕部の筋群のみならず、大胸筋、外腹斜筋、腹直筋、脊柱起立筋群の運動への参加を促していることが考えられ、IAP が背筋群の発揮する力及び筋放電量に比例するというクマー (Kumar)⁹⁾、アスマッセン (Asmussen) ら^{1,2)} の報告と一致する。

このように脊柱が位置、速度共に大きな変化に曝されることが、IAP 上昇の原因になっていると考えられる。デビス (Davis) ら^{3,4)} の「IAP は脊柱を保護する役割を果たす」という主張もこの IAP の上昇を説明するだろう。また筆者らが行った自転車エルゴメーター駆動時に、回転数を上げて行くと IAP が上昇する¹⁰⁾ という結果も、速度の増加が上昇の原因となることを示唆するものだろう。

一方、背腹部の運動に見られる体前屈と、体後屈の IAP の好対照はヒトの日常生活に於ける、正に日常動作である体前屈と、非日常動作である体後屈の差を物語る。ヒトが物を持ち上げようとその物の上にかがみ込む動作が体前屈であるが、物を持つという負荷が生ぜぬ限り IAP は上昇しない。ヒトはその動作に慣れていて故にリラックスした状態で前屈が可能である。一方、後屈は後方不如意という後を見る目を持たぬヒトの、後方への不安を象徴するかのように、わずかの傾きも IAP の上昇を来す。非日常性、不慣れが、ヒトの身体に「硬さ」を生じさせるが、非日常性の1つである「恐怖」に対してもヒトは「身構え」、身体を硬化させる。身体を硬くすることは、すなわち、身体の中心をなす脊柱を IAP を上昇させることで護ろうというヒトの作用であろう。

さて、腰部の運動である体捻転は、脊柱を曲げるという動作を伴わないが為に IAP の上昇は小さい。しかし、それに腕を付加すれば余計な遠心力が加わり、脊柱にかかるストレスは腕なしのときに比べ大きくなる。それが IAP の上昇となって表われている。

体回旋は前に円を描いている限り、体幹と頭という遠心力を生じさせるものだけの脊柱への作用が、IAP を上昇させているのだろう。しかし、これらの上に円を描く回旋に変ると、体後屈の時のストレス、すなわち、IAP にちょうど前に円を描く回旋の時の IAP を加えたものが、3名の被検者全てに確認できた。

ま と め

1. 体操における腕、脚、体側、背腹、腰、胸、各部位 42 種類それぞれの運動中の腹腔内圧 (IAP: intra-abdominal pressure) を測定した。

2. それぞれの運動中の IAP は運動量が大きくなるとそれにつれて上昇した。
3. 脊柱に関わる運動のうち、閉脚跳躍、開脚跳躍、体後屈、前に円を描く体回旋、上に円を描く体回旋に 29.4 mmHg~103.3 mmHg の IAP が認められた。
4. 上に円を描く体回旋は、体後屈と前に円を描く体回旋の複合された運動と考えられるが、その IAP はちょうど2つの運動の合計した IAP と一致した。又その時の IAP は 42 種類の運動中最高を示し、その値は 92.5 mmHg~103.3 mmHg であった。

付 記

本研究は、昭和 60 年度学内奨励研究費 (荒木達雄) の助成によるものである。

引用文献

- 1) Asmussen, E., E. Poulsen and B. Rasmussen: Quantitative evaluation of the activity of the back muscles in lifting. Communications from the Danish National Association for Infantile Paralysis, **21**, 1-14, (1965).
- 2) Asmussen, E. and E. Poulsen: On the role of the intra-abdominal pressure in relieving the back muscles while holding weights in a forward inclined position. Communications from The Danish National Association for Infantile Paralysis, **28**, 1-12 (1968).
- 3) Davis, P. R.: Posture of trunk during lifting of weights. *Brit. Med. J.*, **1**, 87-89 (1959).
- 4) Davis, P. R.: The use of intra-abdominal pressure in evaluating stresses on the lumbar spine. *Spine* **6** (1), 90-92 (1981).
- 5) Kumar, S.: Spinal loading in static and dynamic postures: EMG and intra-abdominal pressure study. *Ergonomics*, **26** (9), 913-922 (1983).
- 6) Nicholson, A. S., P. R. Davis and N. J. Shppard: Magnitude and distribution of trunk stress in telecommunications engineers. *British J. Ind. Med.*, **38**, 364-371 (1981).
- 7) Stubbs, D. A.: Trunk stresses in construction and other industrial workers. *Spine*, **6** (1), 83-89, (1981).
- 8) Stubbs, D. A., P. W. Buckle, M. P. Hudson, and P. M. Rivers: Back pain in the nursing profession. II. The effectiveness of training. *Ergonomics* **26** (8), 767-779 (1983).
- 9) 鈴木正保, 上野裕一: ラジオビルを用いた腹腔内圧測定, 日本体育大学紀要, **14** (2), 55-58 (1985).
- 10) 鈴木正保, 上野裕一: 運動中の腹腔内圧測定の試み, 体力科学, **33** (6), 390 (1984).
- 11) 鈴木正保: 未発表資料