

表4 年齢別スポーツ種目突然死数

39歳以下		40～59歳		60歳以上	
スポーツ種目	死亡数	スポーツ種目	死亡数	スポーツ種目	死亡数
ランニング	114	ゴルフ	41	ゲートボール	44
水泳	58	ランニング	33	ゴルフ	40
サッカー	24	水泳	14	ランニング	18
野球	21	スキー	12	登山	11
体操	16	登山	11	水泳	8
-	-	野球	10	ダンス	8
-	-	テニス	8	テニス	7

(文献²⁾より引用)

表5 突然死に関連したスポーツの種類

報告者(発表年)	症例数	年齢	スポーツの種類				
			球技	体操	ランニング	水泳	その他
Buddington(1974)	109	9～39	30	31	28	6	14
Opie(1975)	19	17～58	11	0	0	0	8
Maron(1980)	29	13～30	21	1	4	1	2
Tsung(1982)	4	14～18	4	0	0	0	0
Kennedy(1984)	11	10～49	9	0	2	0	0
Virmani(1985)	32	14～60	13	6	8	2	3
Northcote(1986)	60	22～66	60	0	0	0	0
Virmani(1987)	33	8～47	13	9	6	1	4
Thiene(1988)	10	13～30	4	1	1	1	3
Niimura(1989)	62	～15	0	18	29	7	8
Burke(1991)	34	14～34	19	3	0	3	9
Murayama(1993)	645		201	19	165	80	180
Whittington(1994)	52	8～82	26	1	6	8	11
Maron(1996)	134	12～40	108	0	17	3	6
Virmani(1997)	62	10～65	30	-	11	-	21
Corrado(1998)	49	11～35	39	1	1	4	4
Larsson(1999)	16	18～32	-	-	16	-	-
Quigley(2000)	51	15～78	37	0	8	2	4
合計	1,412		625	90	302	118	277

(文献³⁾より引用)

人), 以下, 水泳(58人), サッカー(24人), 野球(21人)の順になる。これが40歳から59歳の年齢ではゴルフがトップ(41人), 次がランニング(33人), 水泳(14人)と続く。60歳以上となるとゲートボール(44人), ゴルフ(40人), そしてランニング(18人)と続く。またこれ以外の複数の検討³⁾では, 球技とランニングが多いとの報告が多く, 特に若年での球技の関与が多いことは興味深い(表5)。

スポーツ現場における突然死の原因疾患は, 年齢により明らかに異なる。表6は本邦における, また表7は様々な検討での原因疾患のリストであ

る^{1,3)}。疾患群では心臓血管系が最も多く, さらに若年者では肥大型心筋症が多いが, 年齢が上がると虚血性心疾患の頻度が増加している。以下は, 児童生徒(小学生, 中学生, 高校生), 大学生, それ以降の社会人から中高年と分類して, それぞれについて詳細を述べる。

1. 児童生徒(小学生, 中学生, 高校生)

小児期突然死の頻度を集計した大阪のデータでは, 5～19歳の年間突然死は年齢相当人口10万人に対して男子で3.0人, 女子で1.5人であり, そのうち心臓性突然死と考えられるものが約60%であったと報告されている⁴⁾。日本スポーツ

表6 年齢別突然死原因疾患

	～39歳	40～64歳	65歳～
心臓血管系	278	177	87
脳血管系	14	23	9
呼吸器系	5	1	1
溺死	16	0	0
熱中症	6	0	0
不詳・その他	7	0	0
計	326	201	97

(文献¹⁾より引用)

振興センターによる学校管理下の突然死のデータ⁵⁾では、十数年前には小学生、中学生、高校生全体で毎年100人程度の学校管理下の突然死が報告されていたが、最近では学校管理下の心臓性突然死が減少し、2004年度には44名、2005年度には35名と報告されている。学校心臓検診の充実、適切な心疾患児の管理、適切な先天性心疾患の術前術後の管理がこの要因と考えられる。伊東らのスポーツ中の突然死211件の報告⁶⁾では、小学生15件(11.6%)、中学生37件(28.7%)、高校生77

件(59.7%)であり、年齢とともに突然死は増加する傾向が認められる。

学校管理下の突然死の発症状況をみると、運動に関連したものが多く⁷⁾、1988～1993年までに日本体育学校健康センターに報告された学校管理下の心臓性突然死536例においては、ランニングに関連した突然死が多く207例、その他歩行82例、球技78例、水泳28例などであった。伊東らの検討⁸⁾でも、死亡直前の運動内容はランニングが最も多く53件(41.1%)、次いで球技36件(27.9%)、水泳17件(13.2%)、格闘技8件(6.2%)、縄跳び4件(3.1%)、筋トレ3件(2.3%)、その他2件であった。

Maronら⁹⁾は突然死した若年者のスポーツ選手387人の死因を報告している。これによると、肥大型心筋症26.4%、心臓震盪19.9%、冠動脈奇形13.7%、原因不明の左室肥大7.5%、心筋炎5.2%、大動脈瘤破裂(マルファン症候群)3.1%であった。しかし、新村らは神奈川県の子童・生徒の急死例97例を検討し、原因不明の急性心機能不全(剖検

表7 スポーツ関連突然死の基礎疾患

報告者(発表年)	症例数	年齢	基礎疾患								
			CAD	HCM	ILVH	ARVC	CAA	Myo	Ao	不明	他
Buddington(1974)	109	9～39	43	5	18	0	7	4	0	0	32
Opie(1975)	19	17～58	19	0	0	0	0	0	0	0	0
Maron(1980)	29	13～30	3	14	5	0	4	0	2	1	0
Tsung(1982)	4	14～18	0	1	0	0	2	0	0	1	0
Kennedy(1984)	11	10～49	7	2	0	0	1	0	0	1	0
Virmani(1985)	32	14～60	8	2	4	0	3	4	1	2	8
Northcote(1986)	60	22～66	51	1	0	0	0	0	0	2	6
Virmani(1987)	33	8～47	14	2	2	0	2	2	0	6	5
Thiene(1988)	10	13～30	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Niimura(1989)	62	～15	0	8	2	0	0	5	0	23	24
Burke(1991)	34	14～34	9	8	3	1	4	2	0	4	3
Murayama(1993)	645		139						9	369	128
Whittington(1994)	52	8～82	43	2	0	0	0	0	0	0	7
Maron(1996)	132	12～40	3	48	13	4	25	8	6	4	21
Virmani(1997)	62	10～65	11	5	8	4				13	21
Corrado(1998)	49	11～35	9	1	0	11	6	3	1	0	18
Larsson(1999)	16	18～32	0	4	0	4	0	7	0	0	1
Tabib(1999)	80	35.8±14.6	27	20	0	8	0	2	0	0	23
Quigley(2000)	51	15～78	42	1	0	0	1	1	0	0	6
合計	1,490		428	124	55	42	55	38	19	426	303

CAD:冠動脈疾患, HCM:肥大型心筋症, ILVH:左室肥大, ARVC:不整脈源性右室心筋症, CAA:冠動脈奇形, Myo:心筋炎, Ao:大動脈解離・破裂, 不明:急性心不全(剖検なし)・急性心機能不全(剖検あり)を含む

(文献³⁾より引用)

で器質的異常を認めないもの)60例, 器質的心疾患18例(肥大型心筋症3例, 不整脈源性右室心筋症2例, 先天性心疾患4例, 川崎病3例, 心筋炎3例, QT延長症候群2例, 心房粗動1例), 脳血管障害14例, 熱中症5例と報告し, 97例中90例は生前心疾患を指摘されていなかったとしている¹⁰⁾. このように小児期の心臓性突然死の機序は未だ十分に解明されておらず, 不明な点も多い. 生前まったく無症状で心電図にも異常を認めないものが多いのも事実である.

前述のとおり, 学校管理下における突然死は1987年をピークに年々減少傾向にあるが, 基礎心疾患を指摘されていない小児にもみられることから, 全てを防ぎ得ていない¹¹⁾. また状況別にみると, 突然死はスポーツ中に発生することが多く, 学校現場では十分な注意が必要である.

2. 大学生

米国における若年スポーツ選手の突然死の発生頻度は, 女子に比較して, 男子で高頻度であった¹²⁾. また, 男子高校生に比較して, 男子大学生ではさらに高率であることが報告されている¹³⁾. わが国の全国243大学・短期大学における突然死アンケート調査¹³⁾では, 回答のあった181校(74%)の延べ学生数11,868,668名(1979年1月から1987年8月まで)のうち, 38校102例(男99例, 女3例)の突然死が報告されている. 女子の3例は基礎疾患を有しており, 予期せぬ突然死は男子のみで, その頻度は8.5人/100万人/年であった. また, 全国576の大学・短期大学を対象とした循環器検診アンケート調査¹³⁾では, 1982年度から1988年度の7年間に21例の突然死があり, その発症率は12.8人/100万人/年と報告されている.

わが国における大学生の突然死の原因疾患に関する調査はほとんどない. わが国においては剖検率が低く, また死亡診断書の病名を急性心不全とする傾向があり, 正確な死因が明らかでないことが多い. 1948~1999年の52年間の東京都23区内におけるスポーツ中の突然死例534件(剖検率72.8%)の疫学調査¹⁴⁾によれば, 若年者の死因の第1位は児童生徒と同じで, 原因不明の急性心機能不全(剖検で器質的異常を認めないもの)であ

り, 10歳代の51%, 20歳代の46%を占め, その平均年齢は20.4±9.5歳であった. 第2位は器質的心疾患(肥大型心筋症, 先天性心疾患, 心臓弁膜症, 心筋炎, 冠動脈起始異常, 心奇形など)であり, 10歳代の26%, 20歳代の21%であった. 運動との関連では, 急性心機能不全では運動中に60%, 運動直後に15%が突然死を起こし, 器質的心疾患でも運動中に58%, 運動直後に20%が突然死を起こしており, 学童生徒と同様, 特に運動には注意が必要である.

3. 社会人から中高年

米国では毎年30万例を超える突然死が発生し, その半数が冠動脈疾患による突然死である¹⁵⁾. しかし, 疫学的研究としてのデータは世界的にみても少ない. わが国においてもスポーツ関連の突然死に関する疫学的検討は少なく, 大規模調査は主にアンケート調査により行われたものである. わが国におけるスポーツ関連の突然死の発生頻度は, 対象年齢が小児を多く含む都道府県体育施設では1,636万延べ施設利用者に1件¹⁶⁾, 大学生における発生頻度は34万人に1件¹³⁾と低率であったのに比較して, 中高年が多い社会人の調査では, 社会人42,887人に1件¹⁷⁾と発生頻度が増加していた.

スポーツ中の突然死に関する主な文献による1,412症例の集計(表5)では, 欧米での突然死に関連したスポーツ種目は, バスケットボール, ラグビー, サッカーなどの球技が半数近くを占め, 次いでランニング, 体操が多いと報告されている. 本邦での報告は前述の村山班の報告のとおり(表4)である. スポーツ種目の種類は国・地域により差があるものの, 球技, ランニング, 水泳などのあらゆる種類のスポーツで発生している. 特にこの年齢ではスポーツの種類・強度に関係なく各自の運動許容を考慮する必要がある.

わが国の報告¹⁸⁾に多く含まれる急性心不全や急性心機能不全を含め, 報告されている突然死の基礎疾患の大半は心臓血管系疾患であると考えられる. 特に40歳以上の対象を多く含む報告¹⁸⁻²⁰⁾では冠動脈疾患の頻度が高く, 欧米でも本邦と同様の傾向である. これら冠動脈疾患の存在は, 激しい身体活動や競技活動により放出されるアドレナ

リンにより、突然死のさらなるリスクにつながっていると考えられる。

心臓震盪 (commotio cordis)

1990年代に Maron ら²¹⁾は、スポーツ中に前胸部に鈍的外力が加えられ突然死した若年者を、心臓震盪として報告した。現在では心臓震盪は「心臓への機械的刺激により誘発された致死的不整脈」と考えられている。典型的な経過は、野球の守備で取り損ねた打球を胸に受け、落ちたボールを拾い送球しようとした動作中に倒れ、そのまま死に至るといえるものである。

このメカニズムについては、様々な検討がされている。北米の128例のうち、心電図が記録できた82例の心電図所見をみると、心室細動が33例、心室頻拍が3例、徐脈性不整脈が3例、心室固有調律が2例、完全房室ブロックが1例、心静止が40例であった。本邦では、奥水ら²²⁾が報告している25例のうち、心電図が判明している症例は16例あり、その内訳は心室細動が14例、心室頻拍が1例、心静止が1例であった。北米のデータでの心静止を心室細動や心室頻拍の終末像とみると、心臓震盪の心電図所見は致死的な頻脈性不整脈が多く、これにより心停止に至っていると考えられる。さらにこの機序を裏付ける研究として、Link ら²³⁾はブタの前胸部に衝撃を加える実験で、心電図 T 波の頂点から15~30 msec 前、いわゆる心室受攻期に衝撃を加えると、10回中9回心室細動が誘発されたことを報告している。実際の症例での胸部への衝撃の原因としては、北米の128例では野球ボール53例、ソフトボール14例、ホッケーバックス10例などが多かった。その他、コンタクトスポーツによる肘や膝、日常の遊びの中でも発生している。本邦の25例でも野球ボール10例、ソフトボール2例、手拳手掌3例、その他、肩や肘などの衝撃例もあった。さらに北米では報告されていないサッカーボールやバスケットボール、フットサルボールなど比較的大きなボールでの発生例も含まれていた²⁴⁾。海外での報告では、年齢的には70%以上が18歳以下に発生しており、本邦の報告²²⁾でも13歳から15歳にピークがあり、18歳以下が全体の88%を占めて

いる。これは若年者の胸部が柔らかいため、衝撃が心臓に伝わりやすいことが関係していると考えられている。衝撃部位は心臓の直上が多いが、心窩部への衝撃でも発生している。

前述の Maron らの報告⁹⁾のとおり、心臓震盪は若年者の突然死の原因として肥大型心筋症26.4%に続き二番目(19.9%)に多い疾患である。この頻度から推察すると、本邦では年間13人前後がスポーツ中に心臓震盪で死亡していることになる。統計に載らない突然死例やスポーツ以外での心臓震盪死亡例もあると推察されるので、実際はこれより多いかもしれない。今後本邦でもさらなるデータ集積と解析が必要である。

予後に関する北米の報告では、128例中21例が1年以上生存し、15例が完全社会復帰した。128例中41例に電気的除細動が実施されていた。本邦の25症例の予後は10例が生存し、9例が完全社会復帰している。生存している10例中9例、自己心拍が再開した13例中12例でAEDによる電気的除細動が実施されていた。

心臓震盪発生時は早期電気的除細動が社会復帰に不可欠であり、スポーツ現場への計画的なAED配備が必要である。さらに心臓震盪予防のため、財団法人製品安全協会が中心となり、胸部プロテクターの安全基準が作られている。胸部への衝撃を軽減させ心臓震盪の発生を予防することを目的としており、この普及と効果が期待される。

スポーツ関連の心停止をなくするための対策

1. 予 防

スポーツは競争を含む運動であることから、疾患が明らかでない場合のみならず潜在性疾患により事故が発生する危険がある。潜在性を含めて心血管に異常を持つ者において、限度を超えた負荷が加わった場合には、スポーツの種類や競技に関係なく、疾病として発症することになり、これが突然死に結びつく。この潜在性を含めた疾患を明らかにし、安全にスポーツを行うためには、競技スポーツに限らず、一般市民スポーツ、さらに運動療法をも含むスポーツ活動を行う者全てがメディカルチェックを受け、スポーツに参加することが

望ましい²⁵⁾。

既に心電図異常、高血圧、糖尿病、脂質異常症などの指摘を受けている成人患者に対しては、冠動脈疾患の関与を考え、もし胸部圧迫感などが5分以上継続、呼吸苦、めまいなどの症状がでたときは、“心臓発作かもしれない”と考え、一刻も早く救急車を要請して、専門的治療ができる病院を受診するように、事前に指示しておくべきである。

また小児の場合、心臓性突然死を1人でも減らすためには、特にスポーツ指導者が心疾患に対する正しい知識を持ち、管理の重要性を認識して指導にあたるのが大切である。現在、小学校・中学校・高校の1年生に対し、入学時心臓検診が行われているが、目的は子供達の心疾患の早期発見と適切な治療・管理を行い、突然死を防止することにある。精密検査の結果、運動制限が必要と判断された場合、指導者は内容を十分に理解し、指導に生かすことが突然死防止に不可欠である。

基礎疾患がまったくない心臓震盪の予防対策としては、原因となる胸部への衝撃を予防することが一番であり、前述のとおり、各スポーツ用具メーカーによる胸部プロテクターが開発され販売されている。

2. AED 配置と早期除細動

2002年、米国心臓協会(AHA)と米国スポーツ医学会は、フィットネスクラブなどのスポーツ施設に、誰でも使用できる形(パブリックアクセス)でAEDを設置するよう勧告した。勧告文は、AHAの学術誌であるCirculation誌²⁶⁾に掲載された。この勧告は両会が1998年にスポーツ施設向けに発表した勧告、「AHA/ACSM Recommendations for Cardiovascular Screening, Staffing, and Emergency Policies at Health/Fitness Facilities」に対する追補として出されたものである。勧告では冒頭で、心筋梗塞などの冠動脈疾患で心室細動に陥った人に、即座に除細動を行えば救命率を向上できるため、医師の指示がなくても除細動を行えるAEDが、今や「蘇生の鎖」(Chain of Survival)の重要な一つとなったことを強調している。そのうえで、スポーツ施設を規模や利用者の心疾患リスクで5つのレベルに分類した。レベル

1(ホテル内のトレーニングルームなど専任スタッフがいない施設)からレベル3(通常のスポーツ施設)には、努力目標としてパブリックアクセスAEDの設置を推奨し、レベル4(運動療法プログラムを実施するスポーツ施設)に対しては、パブリックアクセスAEDの設置を強く推奨した。レベル5に相当する心臓リハビリテーションなど心疾患リスクの高い患者を対象に運動療法を行う施設に対しては、米国では既に除細動器の設置が義務付けられている。

日本においても広くAEDが普及してきており、この活用が必須である。特にスポーツ施設へのAED配置は積極的に行われるべきであり、救命できるスポーツ中の突然死に対して、事前に準備を怠らないことが不可欠である。適正な数をいつでも使える場所に設置するとともに、設置場所を関係者全員に周知させておき、いざというときに活用できるように使用法を習得させておくなどの準備が、教育現場、スポーツ現場で必要である。また、児童生徒は第一発見者となり得るため、AED使用法を指導しておくことが有効である。また、8歳以下の子供にも対応できるパッドが市販されており、小学生にも使用が可能である。8歳以下の子供にAEDを使用する可能性がある場所では、準備することが望ましい。心臓震盪が起り得るスポーツの現場、学校などにAEDを配置し、子供達が安全にスポーツできる環境を作ることが不可欠である。

3. 質の高いCPR(胸骨圧迫のみのCPRなど)

AEDが普及してきた現在、このAEDを有効に作用させるためのもう一つ大切なポイントが、質の高い胸骨圧迫である。胸骨圧迫がしっかりできてきている患者では、冠灌流圧が増加して、心室細動の場合その振幅や周波数も増加し、電気的除細動が効きやすくなることが知られている²⁶⁾。この場合、人工呼吸を省いても救命率に変化がない(もしくは心室細動では逆に救命率が高い²⁷⁾)ことが、最近の多くの論文²⁸⁾で示されている。また、教育的な観点からもシンプルな胸骨圧迫のみの心肺蘇生が注目されており、「Call and Push」として日本でも指導されている。このように早期除細動の指導とともに、全ての初期応答者に質の高い

胸骨圧迫のトレーニングを行うことが不可欠である。また、教育現場での「命の教育」は非常に重要であり、中学生、高校生への心肺蘇生講習をさらに進める必要があると考えられる。

4. 野球、サッカーなどでの救護体制

日本高校野球連盟全国大会でも、2005年大会からAED配備が行われている。また、日本サッカー連盟でも、2004年シーズンからJリーグの試合にAED配備を完了させている。現在では日本でも多くの野球場やサッカー競技場にもAEDが常備されているが、練習などを含め必ずしも全てのスポーツ会場にAEDが配備された訳ではなく、今後もさらなる計画的なAED配備とスタッフ配置が必要と考えられる。

5. マラソンでの救護体制

マラソンでは、5万人から10万人に1人の割合で心停止が起こるとされている²⁹⁾。運動による心臓への負荷、発汗による脱水、興奮によるアドレナリン放出によって、心筋梗塞や不整脈が起こりやすくなると考えられている。マラソンはジョギング程度の運動量で参加可能であり、高い運動能力を必要としないので誰でも挑戦可能である。このため潜在性心疾患を持つ人が参加して、マラソン中に心筋梗塞を起こし、心室細動などの不整脈による心臓性突然死が起こり得る。このような事故を起こさないためには、事前のメディカルチェックが重要である。しかし、事前チェックで全ての潜在性心疾患が除外できる訳ではなく、最終的にはマラソン大会現場での安全な救護体制が大切となる。

2007年2月18日、国内最大規模で日本初となる大都市市民マラソン「東京マラソン2007」が開催され、東京都庁から東京ビッグサイトまでのフルマラソンと、日比谷公園までの10キロレースに国内外から男女約3万人が参加した。国士舘大学救急医療チーム(代表：田中秀治教授)は総勢76人で参加し、マラソン大会の救護体制をサポートした。「モバイルAED隊」と呼ばれる自転車(マウンテン・バイク)にAEDを装備した救急救命士による移動救護チームを8隊、コースの1キロごとに2名1組となりAEDを定点配置したBLSチーム18隊を組織、これらのチームを東

京ビッグサイト内に設けた医師2名、救急救命士1名で組織する救護指令本部において統括指揮を実施した。日本では年間100回以上のフルマラソン大会、1,000回以上のハーフマラソン大会が開催されているが、過去6年間に20例以上の心肺停止事故が発生、その多くが心室細動によるもので、ゴール直前、スタート直後に多く発生していることからレース終盤のゴール付近を重点警戒地域として救護体制を確立したそうである。当日は心肺停止2人を含む16人の救急搬送があったが、心停止の1件については同チームらの連携で救命処置を行いAEDが使用され、救急車の到着までに自己心拍を再開させている。2008年、2009年も同様の安全な救護体制が取られたことで、2009年大会では2件の心停止症例が救命されている。

スポーツ現場での救命例

市民がAEDで倒れている人に電気ショックをかけた件数も年々倍増して、2008年の1年間に807例に使用されている。市民が使ったAEDは確実に効果をあげており、2008年のデータでは、心原性で目撃された心停止例に対して、ただ救急車を呼ぶだけで市民が何もしなかったときの1カ月後生存率が8.2%だったのに対して、市民が自らAEDを使用した症例では1カ月後生存率が43.8%と改善されている。このように現場にいる市民自らが心肺蘇生を行ったりAEDを使用するという重要な役割を持つことにより、スポーツ現場での救命率がさらに改善されることは間違い無い。

1. 高校野球地区予選での救命例

大阪府岸和田市内の飛翔館高校での2007年春季近畿地区高校野球府大会予選の試合中、飛翔館高校の2年生(16歳)投手の胸部をライナーが直撃、投手は崩れるようにマウンドに倒れ、心肺停止状態に陥った。事故の発生状況から、「心臓震盪」によるものと考えられるが、たまたま観戦に訪れていた同市内消防署の救急救命士(39歳)がマウンドに駆け寄り、野球部監督、投手の父親とともに心肺蘇生法を開始、さらに同校に卒業生から寄贈され配備されていたAEDを使用し除細動を実施したところ、自己心拍自発呼吸が再開、

119番通報による救急車が到着した時には、救急隊員の呼びかけに応じられるまでに意識も回復した。

これはまさに現場にいた方々による心肺蘇生法と、配備されていたAEDによる早期除細動により救命された症例である。全てのスポーツ現場での心停止に対してこの症例のように対処することができれば、スポーツ現場での心停止は救命が可能であると考えられる。この症例はのちに日本広告機構と日本心臓財団のAED普及のためにポスターとして全国に掲示された(図1)。

さらに救命された投手は、2010年3月に京都で開催された日本循環器学会総会の心肺蘇生市民公開講座などにも参加していただき、日本における心肺蘇生法やAED普及にも貢献していただいている。

2. 「東京マラソン2009」での救命例

2009年3月22日に開催された東京マラソンで、14.7km地点で有名タレント(41歳)が倒れた。並走していた医師と大会スタッフによる胸骨圧迫と人工呼吸が行われ、その後国士舘大学救急医療チームモバイルAED隊がAEDを装着。心室細動に対して2回の除細動を行い自己心拍が再開し、その後救急車により病院へ搬送された。原因は急性心筋梗塞による心室細動であった。倒れてからAED装着まで約6分、その後脳障害を残していない。

この症例はマラソン大会の救護体制が非常に有効に働いたために救命された症例である。今後もより多くのスポーツ現場でこのような十分な救護体制が準備され、一人でも多くのスポーツ現場での心停止が救命されることが切望される。

3. 海外での報告

Dreznerら³⁰⁾はシアトルの中学校、高校に配備されたAEDについて検討を行っている。観察期間中に14の学校で36件の心停止が報告され、そのうち14件はスポーツをしていた学生、残りの22例は学校スタッフであった。全体36例中35例は心停止を目撃されており、34例は心肺蘇生法が行われ、30例でAEDによるショックが行われた。全体のうち23名(64%)が生存病院退院しており、14名のスポーツをしていた学生のう



図1 日本広告機構・日本心臓財団ポスター

ち9名で生存退院を認め、非常に良好な成績と考えられた。本邦からもパブリックアクセスのAEDによる良好な成績が報告されているが³¹⁾、まだスポーツ現場におけるAEDによる救命率の詳細なデータは少ない。今後はこれらのデータ収集が不可欠であろう。

おわりに

スポーツ現場におけるAEDの活用について述べてきた。日本におけるAED普及に伴い、着実にスポーツ現場での心停止が救命できるようになってきている。しかし、さらなる救命率向上のためには、スポーツ現場での心停止の予防と、万が一心停止が起こったときのためのAEDやスタッフの計画的配置、さらには一般市民を含めた心肺蘇生法とAED使用法のさらなる普及が不可欠である。

文 献

- 1) 徳留省悟：突然死—スポーツ中の突然死. *Cardiac Practice* 2:105-108, 1991
- 2) 村山正博：心臓性急死の実態と機序. *日本医事新報* No. 3579(1992.11.28)
- 3) 循環器病の診断と治療に関するガイドライン(2007年度合同研究班報告)心疾患患者の学校, 職域, スポーツにおける運動許容条件に関するガイドライン(2008年改訂版)
- 4) 北田実男, 中島節子：大阪府における小・中・高校生の突然死と予防. *公衆衛生* 54:679-683, 1990
- 5) 学校の管理下の死亡・障害事例と事故防止の留意点(平成18年度版). 独立行政法人日本スポーツ振興センター発行, 2009
- 6) 伊東三吾：スポーツ中の突然死. *日臨スポーツ医学会誌* 14:163-166, 2006
- 7) 伊東三吾, 鮎澤 衛, 原田研介：児童・生徒の突然死における死因分析. *小児臨* 48:2751-2780, 1995
- 8) 伊東三吾, 田村幸子, 鮎澤 衛, 原田研介：基礎疾患を有する児童・生徒の心臓系突然死. *循環器情報処理研究会誌* 19:51-58, 2004
- 9) Maron BJ: Sudden death in young athletes. *N Engl J Med* 349:1064-1067, 2003
- 10) 新村一郎, 牧 隆俊：学童生徒の心臓急死. *日医会誌* 106:1855-1859, 1990
- 11) 文部科学省スポーツ・青少年局監修：学校における突然死予防必携(分担). 独立行政法人日本スポーツ振興センター, pp 15-17, pp 64-72, 2003
- 12) Van Camp SP, Bloor CM, Mueller FO, et al: Nontraumatic sports death in high school and college athletes. *Med Sci Sports Exerc* 27:641-647, 1995
- 13) 杉本恒明, 天野恵子：大学生における内因性急死. *運動と突然死(村山正博編)*, 文光堂, 東京, pp 29-42, 1990
- 14) 畔柳三省, 松尾義裕, 小島原将直, 他：スポーツ中の突然死. *日臨スポーツ医学会誌* 10:479-488, 2002
- 15) Kuller L, Cooper M, Perper J: Epidemiology of sudden death. *Arch Intern Med* 129:714-719, 1972
- 16) 村山正博, 川原 貴, 黒田善雄：運動時の急死事故例に関する調査, 運動による事故防止に関する研究(班長：村山正博)：昭和57年度日本体育協会スポーツ医学研究報告, pp 50-56, 1983
- 17) 小堀悦孝, 村山正博：社会人および高校生における運動中の突然死の実態. *運動と突然死(村山正博編)*, 文光堂, 東京, 1990
- 18) 村山正博, 太田壽城, 豊嶋英明, 他：本邦成人におけるスポーツ中の突然死の実態と発生機序に関する研究. *DMW 日本語翻訳版* 15:43-60, 1993
- 19) Opie LH: Sudden death and sports. *Lancet* 1:263-266, 1975
- 20) Northcote RJ, Ballantyne D: Sudden cardiac death in sports. *Br Med J* 287:1357-1359, 1983
- 21) Maron BJ, Poliac LC, Kaplan JA, et al: Blunt impact to the chest leading to sudden death from cardiac arrest during sports activities. *N Engl J Med* 333:337-342, 1995
- 22) 奥水健治：若年者の突然死—心臓震盪. *蘇生* 28:87-94, 2009
- 23) Link MS, Wang PJ, Pandian NG, et al: An experimental model of sudden death due to low-energy chest-wall impact (commotio cordis) *N Engl J Med* 338:1805-1811, 1998
- 24) Maron BJ, Thompson PD, Ackerman MJ, et al: Recommendations and considerations related to preparticipation screening for cardiovascular abnormalities in competitive athletes: 2007 update. A scientific statement from the American Heart Association council on nutrition, physical activity, and metabolism. *Circulation* 115:1643-1655, 2007
- 25) Balady GJ, Chaitman B, Foster C, et al; AHA/ACSM: Automated external defibrillators in health/fitness facilities: supplement to the AHA/ACSM Recommendations for Cardiovascular Screening, Staffing, and Emergency Policies at Health/Fitness Facilities. *Circulation* 105:1147-1150, 2002
- 26) Eftestøl T, Wik L, Sunde K, Steen PA: Effects of cardiopulmonary resuscitation on predictors of ventricular fibrillation defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 110:10-15, 2004
- 27) SOS-KANTO study group: Cardiopulmonary resuscitation by bystanders with chest compression only (SOS-KANTO): an observational study. *Lancet* 369:920-926, 2007
- 28) Iwami T, Nichol G, Hiraide A, et al: Continuous improvements in "chain of survival" increased survival after out-of-hospital cardiac arrests: a large-scale population-based study. *Circulation* 119:728-734, 2009
- 29) Maron BJ, Poliac LC, Roberts WO: Risk for sudden cardiac death associated with marathon running. *J Am Coll Cardiol* 28:428-431, 1996
- 30) Drezner JA, Rao AL, Heistand J, et al: Effectiveness of emergency response planning for sudden cardiac arrest in United States high schools with automated external defibrillators. *Circulation* 120:518-525, 2009
- 31) Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, et al: Nationwide public-access defibrillation in Japan. *N Engl J Med* 362:994-1004, 2010

原著-技術

病院情報システムの仮想化による導入コストの比較

水谷 晃三*¹ 五味 悠一郎*² 澤 智博*¹

筆者らは病院情報システムの構築において、サーバ機能を提供する30台のコンピュータの実行基盤としてプラットフォーム仮想化技術を導入した。プラットフォーム仮想化は、1つの物理的なコンピュータ上で複数のコンピュータを仮想的に提供する技術である。多くのコンピュータを効率的に集約することができるため、情報システムの初期コストの低減や運用コストの改善などが期待できる。本論文では、仮想化技術の採用における比較・検討結果を報告し、病院情報システムにおける仮想化技術の利点と問題点を考察する。

■キーワード：仮想技術，プラットフォーム仮想化，病院情報システム，システム統合化

A Comparison of the Initial Costs of Hospital Information Systems using Virtualization Technology:
Mizutani K*¹, Gomi Y*², Sawa T*¹

We have adopted a platform virtualization technology as an operational environment for 30 computers that are providing server functions, in implementing hospital information systems. The platform virtualization is a technology that enables to provide multiple virtualized computers on a single physical computer. As multiple computers are integrated efficiently, it is expected to reduce initial costs and operational costs of information systems. We report the results of selection processes and cost analysis of virtualization technology. Advantages and problems of using virtualization technology in hospital information systems were discussed.

Key words: Virtualization technology, Platform virtualization, Hospital information systems, Server integration

1. はじめに

近年、情報システムの総合的なコスト（TCO: Total Cost of Ownership）を削減するための手段としてプラットフォーム仮想化技術の採用が注目されている¹⁾。プラットフォーム仮想化は、1つの物理的なコンピュータ上で複数の仮想的なコンピュータを同時に動作させるための技術であり、サーバ仮想化と呼ばれることもある。国内企業を対象にした調査では、6割以上の企業がサーバ仮

想化を導入済みあるいは関心を持っていると報告している²⁾。2013年の国内のサーバ出荷台数のうち20%以上がサーバ仮想化によるものになるという予測もある³⁾。

病院情報システムを構築する場合においても、TCOを削減するための手段としてサーバ仮想化の導入は有効であると考えられる。筆者らは、病院情報システムの構築においてサーバ仮想化を導入した。対象としたのは、電子カルテシステムと連携して稼働する、放射線関連、検体検査、生理

*¹ 帝京大学医療情報システム研究センター
〒173-8605 板橋区加賀 2-11-1 (新病院 7F 本部
情報システム部内)

*² 豊橋創造大学情報ビジネス学部
E-mail: mizutani@teikyo-is.jp
受付日: 2010年8月4日
採択日: 2010年12月9日

*¹ Medical Information and Systems Research Center,
Teikyo University
11-1 Kaga 2, Itabashi (in New Hospital 7F, Department
of Information Systems), Tokyo, 173-8605,
Japan

*² Faculty of Business and Informatics, Toyohashi SOZO
University

2 病院情報システムの仮想化による導入コストの比較

検査などのサーバ機能を提供する 30 台のコンピュータである。

日本国内の病院においては、このような大規模なサーバ仮想化技術の導入事例はほとんど報告されていない。仮想化技術を導入するにあたり、考慮すべき事項や導入効果などについても議論が不十分であると考えられる。そこで本論文では、筆者らの病院情報システム構築事例について、特に初期導入時のコストについて比較・検討した結果を報告する。導入初期に生じる利点や問題点についても述べ、病院情報システムにおけるサーバ仮想化の有効性を考察する。

2. プラットフォーム仮想化技術の概要

1) 近年のプラットフォーム仮想化

コンピュータにおける仮想化とは、物理的な装置や情報を抽象的に扱うことを表現する言葉である。例えばデスクトップ仮想化 (Desktop Virtualization) は、ユーザインタフェース (アプリケーションソフトウェアの画面など) を仮想的に提供する技術である。ユーザが情報システムを操作する環境とソフトウェアの実行環境を物理的に分けることができる。ソフトウェアの実行環境をサーバ上に集約することができるため、情報システム全体の稼働率が高まるとされている。情報漏洩防止の観点でも有効であるとされており、既に病院情報システムとして導入された事例も報告されている^{4,5)}。

本研究で導入するプラットフォーム仮想化 (Platform Virtualization) は物理的なコンピュータを仮想化する技術である。1つの物理的なコンピュータ上に複数の論理的なコンピュータ“仮想マシン”を実現することができる。

プラットフォーム仮想化技術の概念は情報処理技術の中では比較的古い技術である。1970 年ごろ、診療報酬請求計算などの医療事務処理システムで主力であったメインフレームにもプラットフォーム仮想化技術は実装されていた⁶⁾。当時も限られた物理的リソースを効率的に扱うための技術として活用されていた。近年になってプラットフォーム仮想化が改めて注目されるようになった背景には、

- ユーザ要求の多様化に耐えうる柔軟なシステムへの期待
- ハードウェアの高性能化に伴う余剰な物理的リソースの有効活用
- 情報システムの多様化に伴うサーバ設置場所の不足
- システムの可用性、保守性、保全性、安全性 (いわゆる RASIS: Reliability, Availability, Serviceability, Integrity, Security) に対する高度なユーザ要求への対応
- 日本政府のグリーン IT 推進事業などに代表される、環境負荷の小さい IT 技術への要求などがある。特に、技術的な背景として、
- コストパフォーマンスの高いオープン系システムで使用できるプラットフォーム仮想化技術の登場
- オープン系システムの高性能化
- CPU のメニーコア (Many-Core) 化による並列処理性能の向上
- 大容量で高速な記憶装置の低価格化
- コンピュータネットワークの高速化、低コスト化
- 高機能かつ安定したプラットフォーム仮想化を可能にするソフトウェア技術の進歩
- 仮想化技術のコモディティ化

などがある。また、仮想化されたシステムやユーザは仮想化を意識せずに動作/使用できるため、既存のソフトウェア資産やユーザの運用を維持したまま仮想化を導入できるという利点もある。

2) ベアメタル型とホスト型

仮想マシンを動作させるための物理的なコンピュータのことを仮想ホストと呼ぶ。プラットフォーム仮想化は仮想化ソフトウェアによって提供される。仮想化ソフトウェアをインストールすることによって、物理コンピュータが仮想ホストとして機能するようになる。仮想化ソフトウェアにはハイパーバイザ (Hypervisor) と呼ばれる中核プログラムが含まれている。ハイパーバイザの種類にはベアメタル型とホスト型があり、仮想化の目的に応じて選択が必要である。

ベアメタル型は、図 1 のようにハイパーバイ

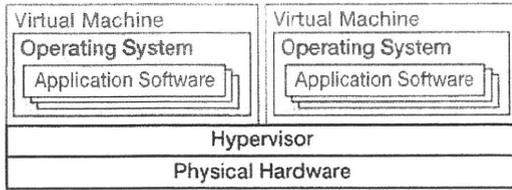


図1 ベアメタル型ハイパーバイザ概念図

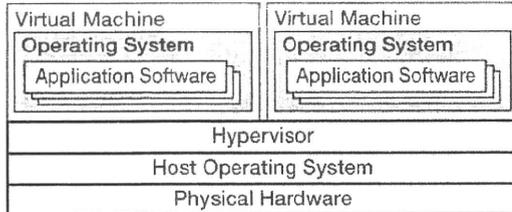


図2 ホスト型ハイパーバイザ概念図

ザが仮想ホスト上で直接動作する。ハイパーバイザが仮想ホストの物理的なリソース（CPU, RAM, ハードディスク, ネットワークなど）を直接利用できるため、仮想マシンの性能を最大限使用することができる。ただし、仮想化以外の目的のために使用することができなくなるため、仮想ホスト専用の物理コンピュータが必要になる。

ホスト型は、図2のように Windows や Linux などの OS の上でハイパーバイザが動作する。Windows 7 などのクライアント向け OS 上で動作する製品もある。専用の仮想ホストを必要としないため、仮想化技術を試したり一時的に仮想マシンを起動したりする場合などに適している。

いずれの方式の場合でも仮想マシンは一塊のファイル（仮想マシンイメージ）として管理することができる。仮想マシンイメージを複製することで仮想マシン全体のバックアップが可能であり、仮想ホストに故障が生じた場合のリカバリを効率化できる。また、仮想マシンイメージを異なる仮想ホストへ移動することも可能であるため、将来的なシステムの拡張や高性能なハードウェアへの移行が容易になる。

3) プラットフォーム仮想化の機能

プラットフォーム仮想化ソフトウェアには、仮想マシンを生成して実行するほかに様々な機能を提供するものがある。主な機能を以下に列挙す

る。

(1) 物理リソースの割当

プラットフォーム仮想化では、複数の仮想マシンが1つの物理的なコンピュータを共有する。役割に応じて仮想マシンを効率的に実行するために、物理的なリソースの使用量を仮想マシンごとに設定できる。

(2) ホットプラグ

仮想マシンを稼働させたまま、仮想化されたハードディスクやネットワークカードの追加・拡張が可能である。運用開始後に仮想マシンの性能を拡張する場合に有用な機能である。

(3) 高可用仮想化への対応

仮想ホストを複数用意して仮想クラスタを構成することによりシステム全体の可用性を高める機能がある。例えば、ある仮想ホストにハードウェア障害が起こった場合に、その仮想ホスト上の仮想マシンを別の仮想ホスト上で再起動する。また、後述のライブマイグレーション機能を用いて別の仮想ホストへ移動する。こうすることで、仮想マシンの停止を回避したり障害の影響を最小限に抑えたりすることが可能になる。可用性をさらに高めるために、ホットスタンバイ状態^{*a}の仮想ホストを用意することもできる。

(4) ライブマイグレーション

ライブマイグレーションは、複数の仮想ホストが存在しているときに仮想ホストの間で仮想マシンを移動する機能である。仮想マシンを停止することなく移動することが可能である点が特徴である。例えば、ある特定の仮想ホストに負荷の高い仮想マシンが偏っている場合、一部の仮想マシンを負荷の小さい仮想ホストへ移動することによってシステム全体を最適化できる。

(5) スナップショットの作成

仮想マシンの実行状態をスナップショットとして永続的に保存できる機能がある。ソフトウェアのアップグレードなどで仮想マシン内の構成を変更するときに、その前後のバックアップを取得できる。

^{*a}システムは起動中であるが機能を提供していない状態

4 病院情報システムの仮想化による導入コストの比較

(6) 管理ツールとセキュリティ

グラフィカルな管理ツールが用意されており、仮想マシンの管理、仮想マシンの操作などが可能である。ネットワークを介して管理ツールを使用できるほか、セキュリティ性の確保と安全な運用のためにユーザ管理機能が同時に提供される。

そのほか、SAN (Storage Area Network) などの大規模ストレージに対応した機能を持っている。いずれもサーバを仮想化することを想定して設けられた機能であり、プラットフォーム仮想化が改めて注目されるようになった理由でもある。

3. 方法：仮想化技術による病院情報システム構築

1) 仮想化対象のシステム

本論文の事例にて仮想化の対象としたのは以下の3つを除く病院情報システムである。

- 電子カルテシステム (診療記録, オーダリングなど)
- 医用画像保管・電送システム
- 医事会計システム

筆者らは上記以外のシステムを“部門システム”と呼び、各システムのIAサーバ*^aを対象に仮想化を実施した。実際には、サーバの仮想化に同意を得ることができた20の部門システム計30台(自院構築のサーバを含む)を対象にサーバの仮想化を実施した。

表1は、仮想化対象となったサーバについて、物理的なハードウェアでシステムを構成した場合の、ベンダ推奨のサーバ要件をまとめたものである。表中のHDDサイズは物理的な容量であり、RAID装置などによって冗長構成された論理的な容量ではない。

2) 仮想化ソフトウェアの選択

前述の物理サーバを仮想化するために、筆者らは3つの仮想化ソフトウェア製品の導入を検討した。検討対象になったものは、以下の3製品である。3製品ともベアメタル型の仮想化ソフトウェアであり、2章3)項で述べたようなサーバ

表1 部門システム物理サーバ要求仕様一覧

Server No.	部門システム名	サーバの提供サービス	ベンダ推奨値		
			CPU (Core)	RAM (GB)	HDD (GB)
1	看護勤務管理	APP, DB	2	2	144
2	栄養管理	APP, DB	4	6	80
3	リハビリ	APP, DB	2	4	600
★4	生体モニタ	APP, GW	1	1	40
★5		GW	4	2	36
6	病理	APP, DB	2	4	600
7	輸血	APP, DB	2	4	294
8	検体検査	APP	4	4	292
9		APP	4	4	292
★10		APP	8	4	584
★11		GW	4	4	146
12		APP	2	2	72
★13	治療 RIS	APP, DB	4	4	730
14		APP	4	3	219
15	診断 RIS	DB	8	4	437
16		APP	4	4	292
17		WEB	4	4	292
★18		IF	2	4	292
★19		IF	2	4	292
20	帳票処理	APP	2	4	72
21	電子署名	APP	1	1	36
22	院内ポータル	WEB, DB	2	4	900
23	IM 管理	WEB	2	1.5	72
★24	システム連携	IF, GW	2	2	72
25	微生物検査	APP, DB	4	2	216
26	感染症管理	APP, DB	4	2	216
27	脳神経検査	APP, DB	2	4	1800
28	眼科	APP, DB	2	2	2000
29		APP, DB	2	2	2000
30	心電図	WEB, DB	1	2	900

※APP: Application Server, DB: Database, GW: Gateway, I/F: Interface, WEB: Web Based System
★は高優先度のサーバであることを示す。

仮想化のための機能を備えている。

- VMware Infrastructure 3
- Microsoft Windows 2008 Server Hyper-V
- CitriX Xen Server

評価は、製品の実績と仮想マシン上で動作する

*^aIA: Intel Architecture, PCサーバと呼ぶ場合もある

OSの種類観点から総合的に行った。

製品の実績について、VMware Infrastructure 3 (以下 VI3 と記す) の中核となる ESX Server は、最初の商用向け製品が 2001 年にリリースされている⁷⁾。Hyper-V は 2008 年のリリースであり 3 製品のうち最も新しい。Xen Server については、当製品の中核を担う“Xen”の最初のリリースが 2003 年⁸⁾であったが、商用サポートの正式な提供は 2007 年以降であった。

仮想マシン上での動作を正式にサポートしている OS の種類について、VI3 では、DOS などの 16 ビット OS、Windows 3.1 などのレガシーな Windows から最新の Windows、Linux 系の多くのディストリビューション、Solaris などの UNIX 系 OS を広くサポートしている。Hyper-V や Xen Server は、近年の Windows や一部の Linux 系ディストリビューションにサポートが限られている⁹⁾。

病院情報システムは、特に部門システムにおいて多様な製品が提供され、それに伴い OS を含めた動作環境は多岐にわたる。同時に、各システムについて高い信頼性が求められることは言うまでもない。これらの要件から、製品実績および OS のサポート面を総合的に考慮し、サーバ仮想化ソフトウェア製品として VI3 を選択した。

3) 仮想環境の設計

表 1 に示した物理サーバの仮想化に向けて、以下の方針で仮想環境の設計を行った。

- 複数台の仮想ホストを用意する。そのうち 1 台はホットスタンバイとする。
- 各仮想ホストは同一性能とし、FC (Fiber Channel) で SAN に接続して互いにストレージ領域を共有する。
- 仮想マシンイメージは SAN 上に配置し、ライブマイグレーション機能を使用する。
- 仮想ホスト 1 台あたりの仮想マシンは 8 台前後とする。重要度の高い部門システムは互いに異なる仮想ホストへ分散して配置する。仮想ホストあたりの仮想マシンの台数は以下の

考え方に基ついで決定した。まず、表 1 において高優先度となるサーバの総コア数を求める。高優先度のサーバとは、病院機能を維持するうえで性能低下やシステムの停止を許容できないものである。システムの停止については、目安として 30 分以上の停止が業務へ影響すると判断したサーバを高優先度とした。

仮想化において、高優先度となるサーバの仮想マシンに CPU リソースを優先的に割当てるには、総コア数を上回る物理コア数が必要である。設計当時、仮想ホストとして使用する IA サーバ製品は、一般的に 1 台あたり 4 コアの CPU を 2 基搭載していた (合計 8 コア)。高優先度となるサーバの総コア数は 27 コアである。したがって、物理的に 8 コア分の CPU を搭載した仮想ホストを 4 台 (合計 32 コア) 導入することで、高優先度の仮想マシンへ CPU リソースを優先的に割当てるのが可能になる。仮想ホストを 4 台とした結果、1 つの仮想ホストあたりの仮想マシンは 8 台前後となる。

4) システム導入時のコスト

仮想化の導入時のコスト削減を確認するための 1 つの観点としてサーバコストを比較した。比較対象は、表 1 に示す各サーバをベンダ推奨値通り構築した場合と、3 章 3) 項の設計に基づく仮想環境の場合である。システム導入時のストレージコストについては、3 章 5) 項にて述べる理由により単純な比較検討が困難であるため、別途検討した。

なお、仮想化に関連するネットワーク機器については、システム導入時のコスト計算には含まないことにした。理由は、①仮想化に伴うネットワーク機器の変更がほとんどなかったため、②仮想化の有無に関わらず基幹 LAN およびサーバセグメントのネットワーク帯域幅は変わらないため、③電子カルテ製品および PACS 製品はそれぞれ異なるネットワークセグメントになっており、仮想化に伴うネットワーク輻輳の心配が少なかったためである。

5) システム導入時のストレージコスト

データストレージとしてのハードディスクは、大容量化に伴って単位記憶容量当たりのコストが

*2010 年 3 月現在

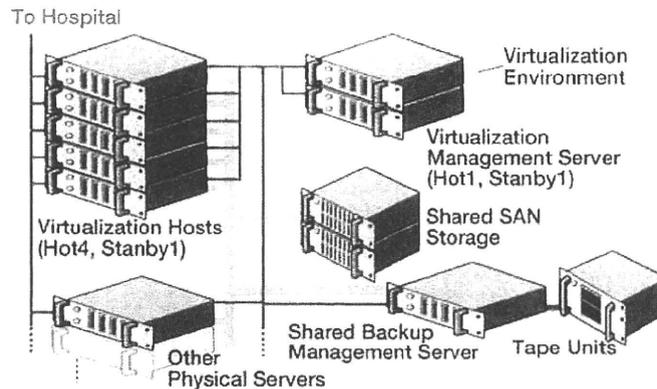


図3 仮想環境のサーバ構成概念図

急激に低下している⁹⁾。今後、記憶容量の増加は鈍化するという指摘もあるが、コストの低下は進むものと考えられる^{10,11)}。

したがって、システム導入時はストレージに必要な容量だけ構築しておき、稼働開始後の状況に応じて容量を拡張していくほうが、システム導入時だけでなくTCOの削減に向けて好ましい。ところが、部門システムベンダが提供する従来のシステムのように、物理サーバのストレージをそのまま用いる場合には物理的な制約を受けやすいため、稼働後に容量を増やすのは困難である。今回の構築では、他のシステムと共有のSANストレージと仮想化を同時に活用することにより、仮想マシンのストレージ容量を稼働後に拡張できるようにした。

システム導入時の各仮想マシンのストレージ容量は、部門システムベンダごとにヒアリングを実施して決定した。ヒアリングにおいては、OSおよび部門システムに関連するソフトウェアの容量、1年間で増加が見込まれる容量を確認した。ヒアリング結果に基づいて5年間のデータ容量を見積もり、システム導入時の仮想マシンのストレージ容量を決定した。

仮想化に必要なストレージ容量とベンダが推奨する物理システムのストレージ容量を比較した。また、バイト単価のコストを比較した。

4. 結果

1) 仮想環境

構築した仮想環境のサーバ構成の概念図を図3に示す。可用性をさらに高めるために、仮想ホストは1台のホットスタンバイを加えて計5台とした。3章3)項で述べたように各仮想ホストは4コアのCPUを2基搭載した8コアサーバとし、RAM容量は24GBとした。

各仮想ホストは仮想管理サーバにて統合管理することにした。仮想管理サーバは1台の予備サーバ(コールドスタンバイ)を含めて計2台構成とした。仮想管理サーバは4コアのCPUを1基搭載し、RAM容量は2GBとした。

この結果、表1に示したすべての部門サーバが仮想化環境で正常に稼働することを確認した。すでに1年以上にわたって連続稼働中であり、プラットフォーム仮想化技術が病院情報システム基盤として実用に耐えうるものであることを確認した。

2) システム導入時のコスト

仮想化の場合は、仮想ホストのハードウェアや仮想化ソフトウェアを含めて導入時のコストを算出する。VI3の場合、仮想化ソフトウェアのライセンスは2CPUで1ライセンスとなる。そのため、本事例のように2CPUの仮想ホストを想定する場合の仮想環境のコスト Vmc は、 N を仮想ホストの台数、 Vh_n ($n=1, 2, \dots, N$)を仮想ホストごとのハードウェアコスト、 VHL を仮想ホ

コストの VI3 ライセンスコストとすると、

$$Vmc(N, M) = \sum_{n=1}^N (Vh_n + VHIL) + \sum_{m=1}^M (Mh_m + VML) \quad (1)$$

で求められる。ここで、 M は仮想管理サーバの台数、 Mh_m ($m=1, 2, \dots, M$) は仮想管理サーバの 1 台あたりのハードウェアコスト、 VML は仮想管理ソフトウェアのライセンスコストである。

筆者らの事例の場合は $N=5, M=2$ であり、仮想ホストおよび仮想管理サーバの仕様がそれぞれ同一であるため、

$$Vmc(5, 2) = 5(Vh + VHL) + 2(Mh + VML) \quad (2)$$

のように仮想環境のコストを見積ることができ

る。しかし実際は、VI3 がもつ機能の利用の有無に応じて VHL の値が異なる。 VML は実際に稼働する仮想管理ソフトウェアのインスタンスの数によって変わるなどライセンス体系は複雑である。仮想化に伴い専用のネットワークの構築が必要になる場合や仮想環境の設計コストが発生する場合もある。これらをふまえて、導入コストをより高い精度で算出するためには試算ツールの活用が有効である。

様々な試算ツールが公開されているが、本論文では VMware 社が公開しているツール¹²⁾を用いて仮想化の効果を試算した⁴⁾。本ツールには試算条件として、

- コア数別に、仮想化対象となるサーバの台数
- 仮想化ホスト 1 台あたりのコア数 (2 基の CPU 搭載を前提とした 1CPU のコア数)
- 仮想化ソフトウェアの基本ライセンス体系の選択
- 仮想化ソフトウェアのオプションの選択

などがある。このほか、ストレージの構成や容量、ネットワーク環境に関する構成、仮想ゲストの OS や実行するミドルウェアのライセンス数、

⁴⁾本試算ツールは最新の VMware 製品を対象としており、筆者らが導入した VI3 とは結果が異なる場合がある

表 2 試算ツールによる初期コストの比較

	Current with VM Saving Rate		
Server Hardware	30,172	9,628	68.1%
Software License	17,033	2,271	86.7%
Networking	2,273	454	80.0%
VMware License		3,239	
VM Design & Deploy		465	
Total	49,478	16,057	67.5%

単位：千円

システムを設置するデータセンタに関する仕様など、システムの導入から運用に関わる試算条件の設定項目がある。

筆者らの事例では、試算の条件を下記のように指定した。

- 仮想化対象となるサーバは、本ツールに従って CPU 別に分類する。表 1 より、1Core×3 台、2Core×14 台、4Core×11 台、8Core×2 台とする。
- 仮想化導入後の物理システムの構成は 3 章 3) 項にて述べたものとする。
- ストレージに関わるコストは試算の対象外とする。
- このほかの条件項目は試算ツールの標準値を用いる。試算ツールの標準値には市場調査に基づく平均的な値が与えられている。

試算ツールによる結果を表 2 に示す。“VM Design & Deploy”は VI3 による仮想環境の設計と、仮想マシンのインストールに関わるコストである。仮想化の導入により VI3 のライセンスや設計など関わるコストが増えているが、ハードウェアの初期コストの削減効果が大きいという結果が得られた。筆者らの構築事例における場合でも、本試算結果と類似する傾向が得られており、システム導入時のコスト削減効果が明らかとなった。

3) システム導入時のストレージコスト

3 章 5) 項で述べたシステム導入時のストレージ容量の見直しの結果、表 1 で示した HDD 総容量 13,872 GB に対して 6,000 GB に削減することができた。ストレージ構成が異なるため直接的な比較はできないが、試算ツール標準値としてのバ

イト単価 (465.48 円/GB*) に基づく計算では約 3,664 千円の削減効果となった。

5. 考察

本章では、仮想化によるシステム導入コストの考察を述べる。また、筆者らの仮想化導入において得られた利点や問題点について述べる。

1) システム導入コストの削減

4 章 2) 項で述べたように、仮想化によるシステム導入時のコスト削減効果は大きい。ただし、仮想化ソフトウェアのライセンスや仮想化のための設計コストなどのコスト増加要因があるため、必ずコストの削減効果が得られるとは限らない。

仮想ホストの台数を減らすことで仮想化のためのコスト増を抑えることができるが、仮想化ホストへの負担が大きくなり仮想ゲストの性能低下が懸念される。一方、仮想ホストの台数を増やすと仮想ゲストの性能低下は防げるが、仮想化のためのコストが増加する。

筆者らの事例では、システム導入時から数多くのサーバを同時に仮想化した。仮想ゲストの数やそれぞれの仕様が明確になっていたため、システム導入時のコスト削減効果を狙いやすい条件下であった。一方、あらかじめ仮想環境だけを用意しておき次第に仮想マシンを増やしていくような場合には、システム導入時のコスト削減は難しいと考えられる。

病院情報システムでは、このように仮想マシンを徐々に増やしていくような利用ケースが想定される。したがって、仮想化の導入によるコスト削減効果を得るには、システム導入時のコストよりも中長期的な計画をふまえた TCO の試算が求められる。

2) システム設置スペースの確保

病院は本来の目的上、物理サーバなど情報システムを稼働させるための施設を十分に保有していないことが多い。システムを設置するためのスペースの確保は、病院情報の電子化によりサーバが増えるほど大きな問題となる。

設置スペース確保のための手段の一つとして、ブレードサーバの導入がある。ブレードサーバは、薄く小型化したブレードと呼ばれる筐体に 1 台の物理サーバを構成し、これをエンクロージャと呼ばれる装置で集約できるようにしたものである。物理サーバを高密度に集約できるため、複数のシステムを少ないスペースで設置可能である。しかし、ブレードごとに余剰な物理的リソースが発生しても、それを有効活用できない問題がある。一方、プラットフォーム仮想化では余剰な物理的リソースを有効活用しながら、設置スペースの確保を同時に実現することができる。筆者らの事例では、仮想化対象のシステムを物理サーバで構築した場合、サーバ本体のみで 59U*¹分の高さが必要であった。各サーバに付随する装置の取付け、電力量、熱量、設置場所の耐荷重、耐震性、メンテナンス性などを併せて考慮すると、大型のサーバラックが 5 基程度必要になる見込みであった。しかし、仮想化によって物理的な装置は実質 1 ラックに収めることができた。今後サーバが増えたとしても、仮想マシンとして導入することにより設置スペースが増加しないという利点も得られた。

3) 構築期間の短期化

システムを物理的に構築する場合には、サーバラックの設置、物理サーバの搬入、電源やネットワークケーブルの配線、配線確認、アプリケーションソフトウェアのインストールなどの作業が発生する。サーバだけでなく、作業員、作業に伴う機材などの移動や、作業のためのスペースの確保が必要になる。そのため、物理サーバの搬入からアプリケーションソフトウェアのインストールまでの作業を、複数の部門システムベンダが同時に行うことは難しい。1 つのサーバラックを複数の部門システムで共有している場合には特に問題となる。

この問題を解決するためには、各部門システムベンダと作業内容や日程を綿密に調整して、もっとも効率的な構築スケジュールを立てる必要がある。

*2010 年 3 月現在

*1U=1.75 inch : EIA による 19 インチラック規格による高さの単位

る。しかしながら、同時に作業できないという制約があるために構築期間を短縮するのは困難である。筆者らの事例のように、数多くの部門システムを同時期に構築する場合には計画外の工期遅れも考慮すべきである。

こうした問題に対しても仮想化の導入は有効である。物理的な機材の搬入を伴う構築作業は仮想環境の導入時のみとなる。2章3)項でも述べたように、管理ツールを用いて各部門システムの仮想ゲストの作成やアプリケーションソフトウェアをインストールすることができる。仮想管理ツールは複数の端末から同時に使用できるため、複数の部門システムの導入作業を並行して行うことができる。この結果、システム全体の構築期間を大幅に短期化することが可能である。

4) 仮想化導入に向けた課題

筆者らの構築事例をふまえると、病院情報システムの仮想化においては以下のような課題がある。

- 仮想化に向けたシステムベンダの対応
- 余剰なシステムリソースの把握
- 病院情報システム管理者の教育
- 保守・運用体制の確保

病院情報システムの仮想化において、もっとも重要なのは仮想化対象となるシステムのベンダ各社の対応である。筆者らの事例では、事前の協議において仮想化を拒むベンダが存在した。

仮想化が不可能である理由の一例として、障害時の原因等の切り分けが困難になることを指摘するベンダがあった。この問題については、病院の情報システム部が仮想環境に関する運用について全面的に支援することを約束したうえで同意を求めた。

仮想化が不可能である理由を求めても、技術的な根拠が不明な場合もあった。その背景には、ベンダ各社の仮想化技術に対する理解不足と対応の遅れがあると考えられる。

ベンダ各社が要求するハードウェア仕様が不適切である問題も指摘できる。新規システムを導入する際、ベンダ各社は最新仕様の高性能な物理サーバを提案する場合がある。実際にシステムを稼働させるとサーバリソースをほとんど消費して

いないことがある。このような余剰なリソースが発生する背景には、近年の日覚ましいサーバ性能の向上がある。しかし一方で、ベンダ各社が自社製品のリソース消費量を適切に把握していないため、余剰な性能のサーバを選定してしまうということも考えられる。

システム利用者の立場では、病院情報システム管理者が仮想化技術について理解しておくことが重要である。2章1)項でも述べたように、仮想環境上で動作するシステムやその利用者は、自身が仮想環境を利用していることを認識しない。しかし、システムを管理する立場では、それぞれのシステムが仮想環境上でどのように動作しているかを把握しておく必要がある。そのためには、仮想化に関する基本的な知識と仮想環境の管理に関する知識の習得が求められる。

同時に、仮想化を前提とした保守・運用体制の確保も重要である。筆者らの事例のように、病院情報システムの仮想化では異なるベンダのシステムが混在する形が想定される。部門システム単位で見れば、非仮想化の場合と同様の保守・運用体制が可能である。しかし、システム全体で見るときには仮想環境を含めて保守・運用することがシステム可用性を維持するために求められる。そのためには、障害発生時の問題の切り分けや復旧体制などの整備が必要である。

6. おわりに

筆者らは病院情報システムの構築において、サーバ機能を提供する30台のコンピュータの実行基盤としてプラットフォーム仮想化技術を導入した。本論文では、仮想化の導入に関するシステム導入時のコストの比較・検討結果を報告した。

比較・検討の結果、筆者らの事例のように多くのシステムを一度に仮想化する場合には、初期の段階からコストの低減効果が得られることを示した。既存のシステムを次第に仮想化していく場合では、TCOをふまえた仮想化設計が前提になることを述べた。

また、筆者らの事例をふまえて、病院情報システムとして仮想化を導入する利点についても示した。仮想化を導入することによって、システム設

10 病院情報システムの仮想化による導入コストの比較

置スペースを大幅に削減することができた。システム導入時の構築期間を短期化することも可能であったことを述べた。

参 考 文 献

- 1) 日本電信電話株式会社. オープンソース仮想化技術 (第1回) サーバ仮想化とは. NTT 技術ジャーナル 2009; **21** (7) : 40-43.
- 2) 社団法人日本情報システム・ユーザー協会. 企業 IT 動向調査 2009. 2009.
- 3) IDC Japan. 2009 年国内仮想化サーバー市場の動向調査. 2009.
- 4) Kuwata S, Teramoto K, Matsumura Y, Andre WK, Elizabeth MB, Kondoh H. Effective solutions in introducing server-based computing into a hospital information system. *Studies in Health Technology and Informatics* 2009; **143** : 435-440.
- 5) 寺本 圭, 桑田成規, 川井達郎, 近藤博史. SBC 環境におけるリモートシステムを利用した電子カルテシステムのユーザビリティ評価. 情報処理学会研究報告 2009; 2009-HCI-135 (8) : 1-2.
- 6) 大町一彦. 仮想マシン通しるべ: 仮想マシン草創期. 情報処理学会誌 2007; **48** (8) : 903-905.
- 7) 名倉丈雄. 仮想マシン通しるべ: 仮想マシンの舞台裏 (VUEMウェア). 情報処理学会誌 2008; **49** (2) : 174-178.
- 8) Paul B, Boris D, Keir F, Steven H, Tim H, Alex H, Rolf N, Ian P, Andrew W. Xen and the art of virtualization. Proceedings of the nineteenth ACM symposium on operating systems principles 2003; 164-177.
- 9) 三浦義正. 1. 情報化社会とストレージ技術. 電子情報通信学会誌 2006; **89** (11) : 934-941.
- 10) 三浦義正. 超高密度磁気記録の未来についての一考察. 電子情報通信学会技術研究報告磁気記録; **104** (408) : 25-31.
- 11) Roger W. Future hard disk drive systems. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **321** (6) : 555-561.
- 12) VMware Cost Savings, Reduce IT Costs with Virtualization Solutions. <http://www.vmware.com/virtualization/cost-savings/>

Usefulness of a bidirectional e-learning material for explaining surgical anesthesia to cancer patients

H. Narimatsu^{1*}, A. Kakinuma², T. Sawa², T. Komatsu³, T. Matsumura⁴, M. Kami⁴ & Y. Nakata²

¹Advanced Molecular Epidemiology Research Institute, Faculty of Medicine, Yamagata University, Yamagata; ²Department of Anesthesia, Teikyo University School of Medicine, Tokyo; ³The 3rd Department of Medicine, Teikyo University School of Medicine, Ichihara Hospital, Chiba; ⁴Division of Social Communication System for Advanced Clinical Research, The Institute of Medical Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Received 12 May 2010; revised 5 September 2010; accepted 15 November 2010

Background: We developed an e-learning system, which is based on an interactive animation video that assists anesthesiologists in preanesthetic interviews.

Materials and Methods: First, the feasibility of the system was investigated in 18 anesthesiologists and 95 volunteers from the general public. Content/quantity, operability, and satisfaction were assessed with a five-point scale. Secondly, a randomized controlled trial was conducted on 211 cancer patients who were scheduled to undergo general anesthesia. They were divided into an e-learning group ($n = 106$) and a control group ($n = 105$). The patients in the e-learning group watched the interactive animation before a preanesthetic interview by an anesthesiologist.

Results: In 10 of the 11 items for content/quantity, operability, and satisfaction, the average score for both anesthesiologists and volunteers was ≥ 3.0 in feasibility study. Then, the level of patient comprehension of preoperative rounds and postoperative complications in the e-learning group was significantly higher than that in the control group (mean: 4.4 ± 0.5 versus 4.1 ± 0.7 , $P = 0.003$, and 4.3 ± 0.5 versus 4.2 ± 0.5 , $P = 0.02$); however, no significant difference in anxiety was seen between the two groups. Patient satisfaction in the e-learning group was significantly higher (mean: 4.3 ± 0.5 versus 4.0 ± 0.6 , $P = 0.002$).

Conclusion: The e-learning system is an effective supplementary tool for preanesthetic interviews in cancer patients.

Key words: animation, anxiety, comprehension, interactive material, quality of life, satisfaction

Introduction

Surgery is important for cancer treatment, and general anesthesia is often required. Before surgery, anesthesiologists thoroughly explain anesthesia; however, the level of patient comprehension varies from case to case, and anesthesiologists do not necessarily assess this comprehension adequately. Even when anesthesiologists think that they have sufficiently explained anesthesia, patients may not clearly understand [1]. Misunderstanding and miscommunication between anesthesiologists and cancer patients represents an important medical issue because it can occasionally develop into medical lawsuits involving preanesthetic interviews.

To improve the level of patient comprehension of anesthesia, educational materials such as leaflets and videos have been used. The effects of these tools on patient anxiety have varied, but many studies have found that they are useful for acquiring knowledge [2–7].

E-learning utilizing bidirectional materials is widely used as an educational tool in various fields [8]. Major advantages are

that e-learning can be designed based on the level of user comprehension and that the level of comprehension can be recorded. To improve the level of patient comprehension of preanesthetic interviews, we developed an e-learning system for explaining surgical anesthesia to cancer patients [9]. Using this tool, anesthesia is explained using an audiovisual program based on the surgery that each patient is about to undergo, and the level of comprehension is confirmed and recorded at the end.

To the best of our knowledge, this was the first attempt to utilize an e-learning system for preanesthetic interviews. In the present study, the feasibility of this system was investigated in physicians and volunteers, and its usefulness was verified in cancer patients.

Materials and methods

e-learning system for explaining surgical anesthesia to cancer patients: interactive animation video

The present e-learning system for explaining surgical anesthesia to cancer patients is an interactive animation that assists anesthesiologists in preanesthetic interviews (Figures 1–5). Our animation is intended to help patients understand anesthesia, to help anesthesiologists determine what their patients do not understand, and to make the preanesthetic interview more effective and efficient. It is not intended to replace the preanesthetic interview

*Correspondence to: Dr H. Narimatsu, Advanced Molecular Epidemiology Research Institute, Faculty of Medicine, Yamagata University, 2-2-2 Iida-Nishi, Yamagata 990-9585, Japan. Tel: +81-(0)23-628-5256; Fax: +81-(0)23-628-5261; E-mail: hiroto-narimatsu@umin.net

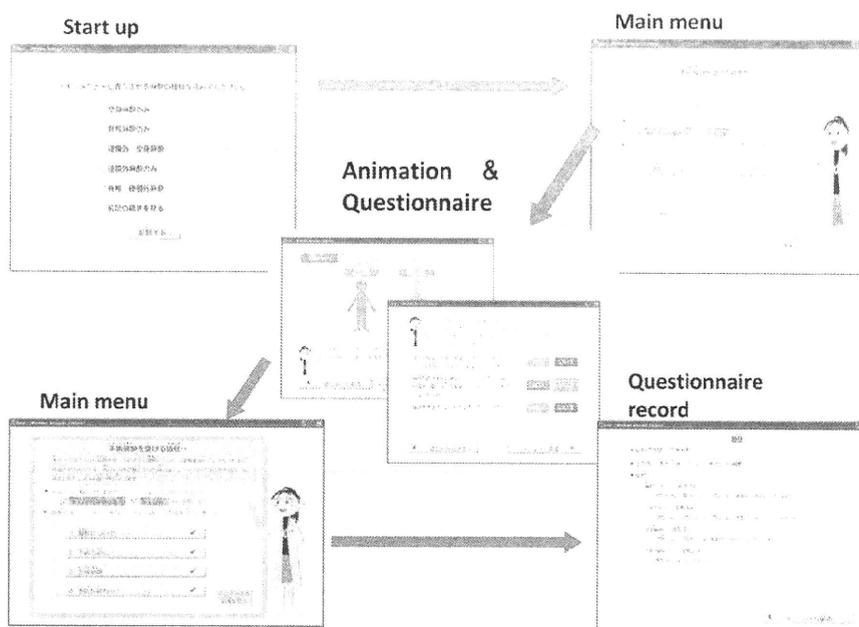


Figure 1. The e-learning system, an interactive animation. This system is intended to help patients understand anesthesia, to show anesthesiologists what their patients do not understand, and to increase the effectiveness and efficiency of anesthesiologists' preoperative interview. This video is composed of five brief sections.

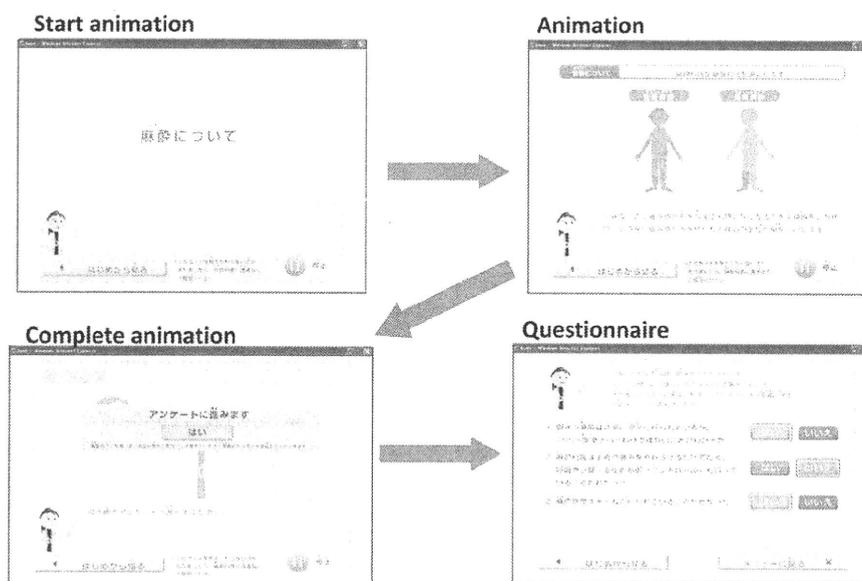


Figure 2. One of the five brief sections. Each section lasts from 1 to 2 min, as we thought that patients might not be able to concentrate on a long explanation. We included a series of questions at the end of each section to examine patients' understanding of the explanation of anesthesia. This also serves as a legal document to prove that patients understood anesthesia and gave informed consent.

by anesthesiologists. The animation is touch-screen operated on a laptop PC with headphones. An animated character, which plays the role of a female anesthesiologist, explains anesthesia in plain Japanese language in a female voice. The animation is composed of five brief sections, each lasting 1–2 min. It takes ~12 min to complete all sections of the animation. In the animation, the animated character first discusses the role of anesthesiologists during

surgery. She then explains the usual general or general–epidural anesthesia procedure and postoperative recovery. There is a questionnaire at the end of every section to assess the patients' understanding of anesthesia. This is also intended to serve as a legal document to prove that patients understood the explanation of anesthesia and gave informed consent. The summary of patients' answers can be reviewed. Anesthesiologists can determine