

## 原 著 ヒト剖検心における Bachmann 束の検討

<sup>1)</sup>昭和大学歯学部全身管理歯科学講座総合内科部門<sup>2)</sup>昭和大学医学部内科学講座(循環器内科学部門)<sup>3)</sup>昭和大学医学部臨床病理診断学講座<sup>4)</sup>国立循環器病研究センター中央診療部門病理部小川 玄洋<sup>1)</sup> 井上 紳<sup>\*1)</sup> 酒井 哲郎<sup>2)</sup>小林 洋一<sup>2)</sup> 瀧本 雅文<sup>3)</sup> 松山 高明<sup>3,4)</sup>

抄録：Bachmann 束は冠静脈洞とともに洞調律時の心房間興奮伝搬に関わる主要な筋束であるが、肉眼的な定義・分布は必ずしも明確でない。ヒト剖検心において左房天蓋部における Bachmann 束の分布を検討した。頻脈性不整脈を認めない非循環器疾患の剖検心 15 例、平均年齢 61.4 歳 (51 ~ 79 歳, 女性 6 例) について左房側の付着部位である天蓋部中央における Bachmann 束の筋束厚, 幅を計測し周辺の組織性状を観察した。Bachmann 束の平均厚は 3.67 mm, 平均幅 21.4 mm で, 心重量と筋束の厚みは相関係数 -0.56 で逆相関した。Bachmann 束は左右心耳を結ぶ主幹部と, 左右心耳の静脈側および房室弁輪側に伸展する周辺部に分けられた。主幹部は房室弁輪に平行に走行する筋束であるが, 4 例が上下に二分していた。また, 上大静脈筋袖が Bachmann 束表層に伸展している例もみられた。Bachmann 束は心重量と相関して菲薄化するが, 各種不整脈との関連ではより詳細な検討が必要であると考えられた。

キーワード：心房間興奮伝搬, Bachmann 束, 心房里モデリング

ヒト心房間興奮伝搬について, 近年の左房内電位の解析から, 洞調律時の心房間の興奮伝搬には Bachmann 束と冠静脈洞開口部の 2 つの主要な経路があること<sup>1)</sup>, 主要な心房内組織である卵円孔周囲は心房間の伝導にあまり関与していないこと<sup>2,3)</sup>, 心房内細動例では Bachmann 束の伝導に遅延がみられること<sup>4,5)</sup>, 等が明らかになった。

左右心房間興奮伝搬について左房側の詳細なデータが得られるようになったのは, Haïssaguerre らにより肺静脈開口部周辺の異所性興奮が心房内細動の誘因となることが報告されて以来, 経心房内カテーテル操作による心房内電位の計測が一般的になったためである<sup>6)</sup>。これ以降, 肺静脈隔離術の普及に伴い 3D マッピングや CT integration など左房内電位と解剖学的な位置関係が詳細に検討されるようになった<sup>7)</sup>。しかし, Bachmann の報告が主に生理学的研究であり詳細な心筋構築に関する記載がないことから<sup>8)</sup>, 左右心筋の解剖学的連結については報告者によってばらつきがある<sup>9-11)</sup>。

\*責任著者

Bachmann 束の分布および性状を再検討するため, 主たる不整脈を認めなかったヒト剖検心について肉眼的および組織学的にその形態を検索した。

## 研究 方法

対象は剖検心 15 例。男性 9 人, 女性 6 人。年齢は 51 歳から 79 歳, 平均 61.4 歳であった。表 1 に死因を示す。全例頻脈性不整脈の既往を認めず, 死因は循環器疾患ではなかった。Bachmann 束は大動脈基部背面で左右心房間を連結する筋束と定義し肉眼的に検討した。ホルマリン固定後に両肺静脈間中央の左心房天蓋部を心長軸方向に切開し組織切片を作成した。同部位において左房壁厚, Bachmann 束の厚みと幅を測定し, それぞれ年齢, 心重量についてピアソン相関係数を用いて検討した。計測後に Bachmann 束周辺の組織を観察した。

## 結 果

図 1a は心外膜および脂肪織を剥離したもののだが,

表 1

死因	症例数
悪性疾患	10
炎症性疾患	2
脳卒中	1
その他	2
合計	15

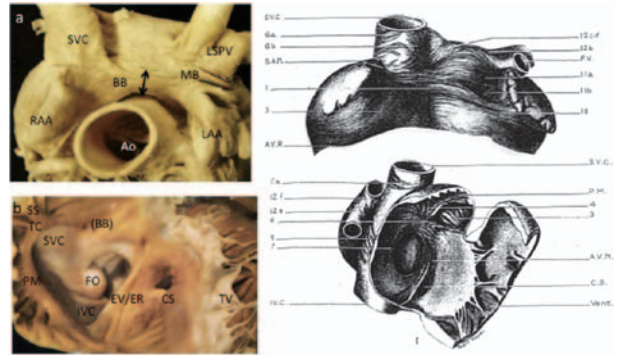


図 1 Bachmann 束の走行と周囲の筋束 (右図は文献 12 より引用)

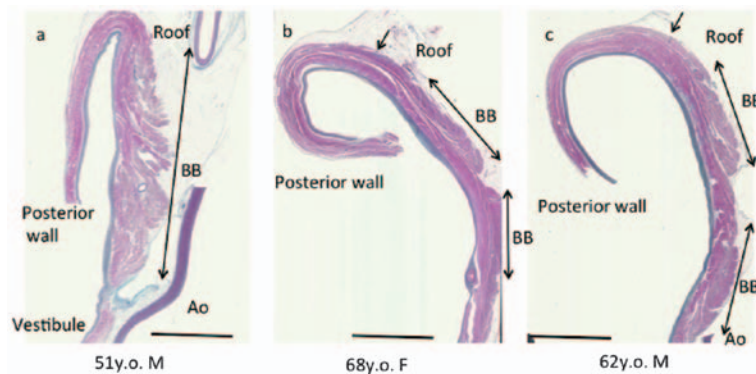


図 2 左房天蓋部における Bachmann 束の組織形態

Bachmann 束主幹部は弁輪に平行な等方性の心房筋走行を示し左右の心耳を結んでいる。左右心房附着部をより詳細に検討すると、左右心耳開口部の静脈側と房室弁輪側にそれぞれ分かれて付着している。図 1b は右房の展開図であるが、Bachmann 束 (BB) は分界稜心房中隔付着部深部で分界稜から分岐する形で左房側へ伸展する。その走行と各部の命名については Papes が詳細に描画しており、図 1 に示す<sup>12)</sup>。

左房天蓋部の組織標本では短軸方向の筋束として観察される。左房天蓋部中央においても 4 例で静脈側と房室弁輪側に二分した例を認めた (図 2)。しかし、主幹部が一本である 11 例も左心耳開口部では静脈側と房室弁輪側に分岐する。それぞれ left posterior crest と left anterior crest と呼ばれ、同様に分岐する右房側の right posterior crest, right anterior crest と対応する (図 1, 3)。

特に left posterior crest は左上肺静脈基部を走行し、Marshall 筋束に接する (図 4)。一方の left an-

terior crest は僧帽弁前庭部筋束に付着する (図 5)。

Bachmann 束の周辺は心外膜脂肪織で覆われているが、1 例に上大静脈筋袖が伸展・付着したものが認められた (図 6)。

天蓋部 Bachmann 束を含む左房壁厚  $5.48 \pm 1.10$  mm (平均 ± 標準偏差)、Bachmann 束厚  $3.67 \pm 0.84$  mm、Bachmann 束幅  $21.4 \pm 2.82$  mm、一般左心房筋平均厚  $1.81 \pm 0.60$  mm であった (表 2)。年齢は各心筋厚、Bachmann 束幅と相関を認めなかったが、心重量は左心房天蓋部の Bachmann 束最厚部の全心房筋厚 (相関係数  $-0.55$  (P 値 = 0.04))、Bachmann 束厚 (相関係数  $-0.56$  (P 値 = 0.03)) と逆相関した (図 7)。

### 考 察

Bachmann 束は正確には interatrial bundle と呼ぶべきであるが、その分布や頻度に関しては文献により差がある。Papez は interatrial bundle の右房

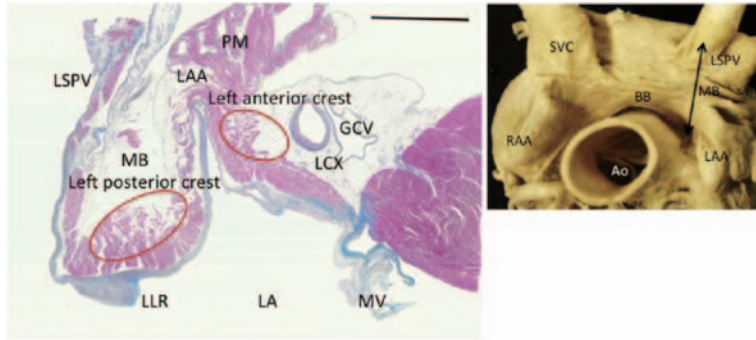


図 3 左心耳と Bachmann 束の伸展 (left anterior and posterior crest)

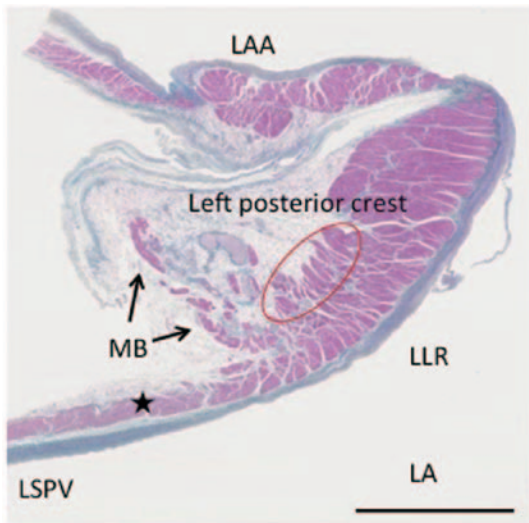


図 4 Left posterior crest と Marshall 筋束

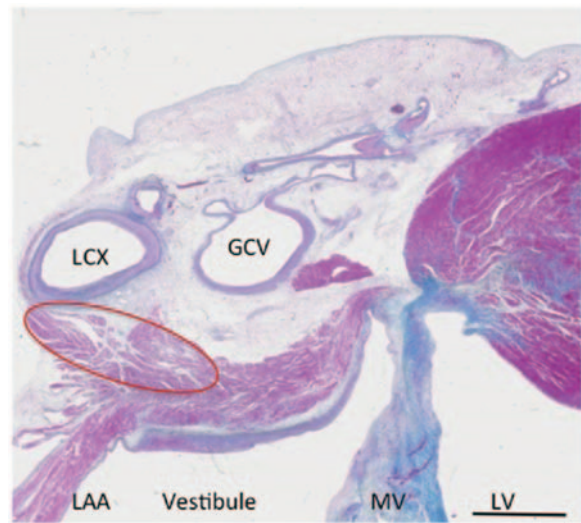


図 5 Left anterior crest と僧帽弁前庭部 (vestibule)

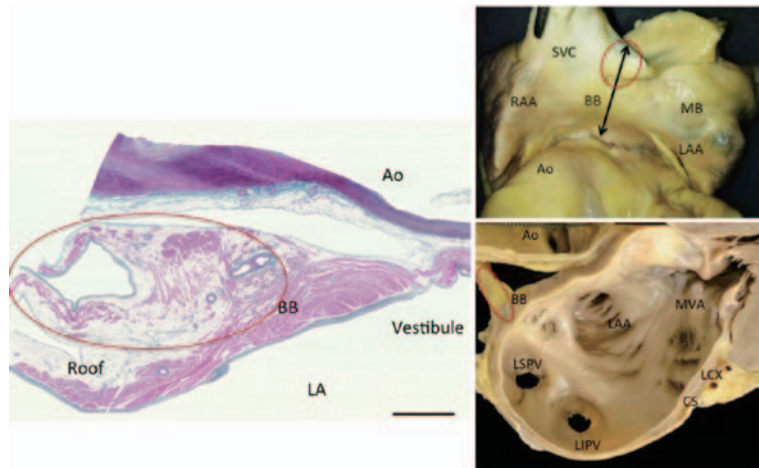


図 6 Bachmann 束に伸展した上大静脈筋袖



表 2

	平均±標準偏差	最少	最大
年齢 (y.o.)	61.4 ± 7.8	51	79
心重量 (g)	349.6 ± 42.4	260	420
Bachmann 束厚 (mm)	3.67 ± 2.82	2.6	5.7
Bachmann 束幅 (mm)	21.4 ± 2.82	18	28
左房天蓋部 (roof) 全体厚 (mm)	5.28 ± 1.10	3.7	8.5
左房天蓋部一般左房心筋厚 (mm)	1.81 ± 0.60	1.1	2.8

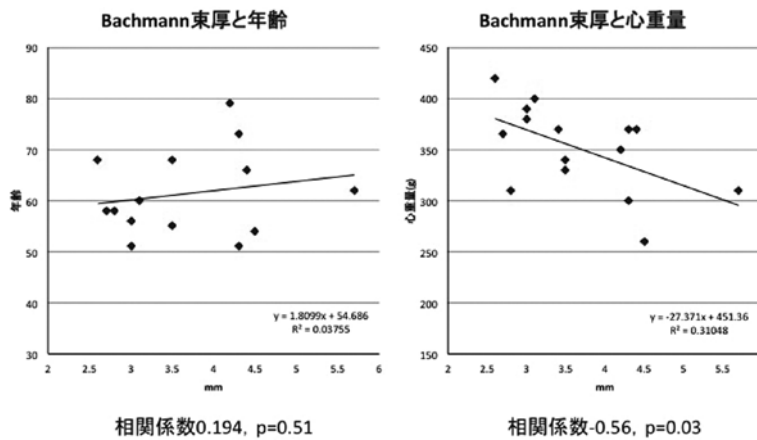


図 7 Bachmann 束の厚と年齢, 心重量

側起始として、分界稜に相当する right posterior crest (terminal crest) と、右心耳三尖弁輪間（三尖弁輪前庭部）の right anterior crest の 2 つを挙げている<sup>12)</sup>。両者は合流して左房天蓋部に付着した後、左心耳開口部で再び 2 つの筋束に別れる。特に left posterior crest 部は左房側方峽部の心外膜側に付着するが、同部位には Marshall 筋束 (図 4, MB) が付着し、肺静脈隔離において焼灼線が通るため重要である<sup>13)</sup>。Bachmann 束主幹部が天蓋部中央で二分した症例を 4 例 (26.7%) 認めた (図 2)。主幹部は左右心耳で前後の crest として静脈側と房室弁輪側に分かれるが、中央で主幹部が二分された例は、この分岐のバリエーションと考えられた。

左右の房室弁輪近傍を結ぶ筋束はその厚みや幅、分布が主幹部に比べて極めて薄く、分布も多様であるが、ヒト剖検心を用いた報告で一部の症例には Bachmann 束を認めないとするものがある<sup>11)</sup>。これらは組織検索方法として大動脈基部で房室弁輪に平行に走行する筋束のみを検討したためと思われる。

左右の anterior crest は心耳下部で大動脈弁基部の湾曲に沿って房室弁輪前庭部 (vestibule) に付着するため、弁輪と平行に標本を作製した際に検索しやうい。しかし、洞調律の際の興奮伝搬の主たる伝搬路と考えられる分界稜 / right posterior crest の走行は図 1 に示すように、右房心内膜下に移り、筋走行も房室弁輪に対して斜交するため標本上で追うのは困難となる。そのために見落とされた可能性が示唆される。

Bachmann 束はその発生学的由来が必ずしも明らかでない。Lamers らは Bachmann 束は atrioventricular canal myocardium 由来を示唆し、van den Hoff らは心房中隔への sinoatrial ring tissue の伸展であると述べている<sup>14, 15)</sup>。彼らによれば発生学的な本来の心房筋は左右心耳の櫛状筋部分であり、平坦な心筋構造をもつ Bachmann 束はより幼弱な洞房輪や房室接合部心筋に近い性格を残すとする。Bachmann 束が分布する大動脈弁基部は胎生期には心内膜床組織が隣接し、生下後はその名残として中心線維体や

fat pad など間質組織が入り込んでいる。Bachmann 束の後方に存在する二次中隔は、心外膜側の脂肪組織が心房間溝として発育したものであり、その過程で残存したものが Bachmann 束と考えられる。刺激伝導系との関連では、Bachmann 束は洞結節が存在する分解稜や房室結節が隣接する房室弁輪前庭部に付着し、刺激伝導系組織との密接な関連が推察される。

James らは電子顕微鏡による心筋細胞分類から Bachmann 束内に他部位の結節間伝導路と同様に結節様細胞や移行細胞、Purkinje 様細胞を認めるとした<sup>16)</sup>。電子顕微鏡を用いた細胞形態の検討では、Yamaguchi らも Bachmann 束の心筋細胞形態に一般心筋とは異なった伝導系細胞に近い所見を報告している<sup>17)</sup>。光学顕微鏡を用いた今回の検討では、図 6 のように Bachmann 束が左房天蓋で上大静脈筋袖の伸展部と接合しているものや、left posterior crest では Marshall 筋束と接しているものもみられ (図 4)、催不整脈性との関連が推察された。

全症例の死因が心疾患ではないため心臓超音波検査などが施行されておらず、左心房拡大の有無は不明であるが、平均心重量 349 g とやや大きく、心肥大症例を含むと考えられた。左心房壁厚は年齢と共に肥厚するとの報告があるが<sup>18)</sup>、本研究の対象が平均年齢 64 歳と高く、また前述のように心肥大症例を少なからず含む影響が示唆された。一方、Bachmann 束厚と心重量は相関係数  $-0.56$  ( $P = 0.03$ ) で有意に逆相関し、心重量の増加と共に Bachmann 束は菲薄化していた (図 7)。左室肥大が生じると左室拡張機能の低下から左房負荷が生じ、左心房拡大を招くことで心房細動などの催不整脈性基質が生じることが報告されている<sup>19)</sup>。Bachmann 束の構成細胞が伝導系細胞の性格を持つとすると左房拡大の影響も受け易いことが推察される。種々の心房不整脈の症例における Bachmann 束についてはより詳細な組織学的な検索が必要であると推察された。

#### 利益相反

本研究に関し開示すべき利益相反はない。

#### 文 献

1) Markides V, Schilling RJ, Ho SY, *et al.* Characterization of left atrial activation in the intact human heart. *Circulation*. 2003;107:733-739.

2) Lemery R, Soucie L, Martin B, *et al.* Human study of biatrial electrical coupling: determinants of endocardial septal activation and conduction over interatrial connections. *Circulation*. 2004;110:2083-2089.

3) Sakamoto S, Nitta T, Ishii Y, *et al.* Interatrial electrical connections: the precise location and preferential conduction. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2005;16:1077-1086.

4) Roithinger FX, Abou-Harb M, Pachinger O, *et al.* The effect of the atrial pacing site on the total atrial activation time. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2001;24:316-322.

5) Jurkko R, Mantynen V, Lehto M, *et al.* Interatrial conduction in patients with paroxysmal atrial fibrillation and in healthy subjects. *Int J Cardiol*. 2010;145:455-460.

6) Haissaguerre M, Jais P, Shah DC, *et al.* Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med*. 1998;339:659-666.

7) Faletra FF, Nucifora G, Regoli F, *et al.* Anatomy of pulmonary veins by real-time 3D TEE: implications for catheter-based pulmonary vein ablation. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012;5:456-462.

8) Bachmann G. The inter-auricular time interval. *Am J Physiol*. 1916;41:309-320.

9) Ho SY, Anderson RH, Sanchez-Quintana D. Atrial structure and fibres: morphologic bases of atrial conduction. *Cardiovasc Res*. 2002;54:325-336.

10) Lemery R, Guiraudon G, Veinot JP. Anatomic description of Bachmann's bundle and its relation to the atrial septum. *Am J Cardiol*. 2003;91:1482-1485.

11) Platonov PG, Mitrofanova L, Ivanov V, *et al.* Substrates for intra-atrial and interatrial conduction in the atrial septum: anatomical study on 84 human hearts. *Heart Rhythm*. 2008;5:1189-1195.

12) Papez JW. Heart musculature of the atria. *Am J Anat*. 1920;27:255-277. 4pl.

13) Makino M, Inoue S, Matsuyama TA, *et al.* Diverse myocardial extension and autonomic innervation on ligament of Marshall in humans. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2006;17:594-599.

14) Lamers WH, Moorman AF. Cardiac septation: a late contribution of the embryonic primary myocardium to heart morphogenesis. *Circ Res*. 2002;91:93-103.

15) van den Hoff MJ, Kruithof BP, Moorman AF. Making more heart muscle. *Bioessays*. 2004;26:

- 248-261.
- 16) James TN. The connecting pathways between the sinus node and A-V node and between the right and the left atrium in the human heart. *Am Heart J.* 1963;66:498-508.
- 17) Yamaguchi T, Yi SQ, Tanaka S, *et al.* Ultrastructure and cytoarchitecture of Bachmann's bundle in the mammalian heart. *J Arrhythm.* 2009;25:24-31.
- 18) Pan NH, Tsao HM, Chang NC, *et al.* Aging dilates atrium and pulmonary veins: implications for the genesis of atrial fibrillation. *Chest.* 2008;133:190-196.
- 19) Hennersdorf MG, Schueller PO, Steiner S, *et al.* Prevalence of paroxysmal atrial fibrillation depending on the regression of left ventricular hypertrophy in arterial hypertension. *Hypertens Res.* 2007;30:535-540.

## HISTOLOGICAL EXAMINATION OF BACHMANN BUNDLE IN HEARTS FROM HUMAN AUTOPSIES

Genyo OGAWA<sup>1)</sup>, Shin INOUE<sup>1)</sup>, Tetsuo SAKAI<sup>2)</sup>,  
Yoichi KOBAYASHI<sup>2)</sup>, Masafumi TAKIMOTO<sup>3)</sup> and Taka-aki MATSUYAMA<sup>3,4)</sup>

<sup>1)</sup>Division of General Medicine, Department of Perioperative Medicine, Showa University Dental Hospital

<sup>2)</sup>Division of Cardiology, Department of Medicine, Showa University School of Medicine

<sup>3)</sup>Department of Pathology, Showa University School of Medicine

<sup>4)</sup>Department of Pathology, National Cerebral and Cardiovascular Center

**Abstract** — Bachmann's bundle is an important band of muscle that is, along with the coronary sinus musculature, involved in interatrial conduction during sinus rhythm. Despite its electrophysiological significance in maintaining normal heart beats, however, the macroscopic features and distribution have not been clearly delineated. Via autopsy, this study examined the distribution of Bachmann's bundle in the roof of the left atrium. Dissected hearts were from 15 individuals without conspicuous cardiovascular disease or tachy-arrhythmia, who had a mean age of 61.4 years (51-79 years, 6 females). The thickness and width of Bachmann's bundle were measured in the center of the roof of the left atrium, which is where the bundle is attached. The histology of the surrounding tissue was also examined. The mean thickness of Bachmann's bundle was 3.67 mm and its mean width was 21.4 mm. The weight of the heart and thickness of the bundle were inversely correlated with a correlation coefficient of  $-0.56$ . Bachmann's bundle was divided into the main trunk, that connects the atrial appendages, and extensions, which project into the area around the caval and left pulmonary veins or both atrioventricular annuli. The main trunk runs parallel to the atrioventricular annuli, but in 4 hearts it ran up and down independently. The myocardial sleeve of the superior vena cava was also found to extend into the surface layer of Bachmann's bundle in one heart. The thickness of Bachmann's bundle was inversely correlated with the weight of the heart. More detailed studies are needed to examine the bundle's association with various arrhythmias.

**Key words:** interatrial conduction, Bachmann's bundle, atrial remodeling

[受付：4月24日，受理：5月13日，2015]