



生体試料の前処理の重要な側面

細胞破碎からホモジナイズ、そして多種多様な生体試料の粉碎まで

AUTHOR

Dr. Tanja Butt



Product Management

生体試料には、硬い骨、硬くて繊維質の植物、硬くて粘性のある痰、柔らかい筋肉、腫瘍や肝臓の組織など、さまざまな形や大きさがあります。また、酵母、バクテリア、藻類などの何百万もの細胞は言うまでもなく、DNAやRNAの分離、タンパク質の抽出などのために破壊しなければなりません。ゲノミクス、トランスクリプトミクス、メタボロミクスなどの研究では、あらゆる種類の生物学的サンプルを準備する必要があります。レッチェでは、固体試料を簡単に再現性よく粉碎できるミルやグライセダーを取り揃えています。また、細胞破碎や生体試料のホモジナイズに適したミルやグラインダーもあります。レッチェは、細胞破碎、ホモジナイズ、粉碎、凍結粉碎など、バイオテクノロジー、科学捜査、農業、微生物学などの分野で、便利で信頼性の高いサンプル前処理のソリューションを提供しています。

Retsch
MILLING SIEVING ASSISTING

Retsch GmbH
Retsch-Allee 1-5
42781 Haan, Germany

Phone: +49 (0)2104/2333-178
E-Mail: t.butt@retsched.com

www.retsched.com

この記事では、レッチェのミルを以下のような用途で使用することを説明しています。

- 酵母、微細藻類、バクテリア（懸濁液）の細胞破碎
- 喀痰や肝臓などの軟質・硬質の生体試料のホモジナイズ
- 細胞ペレット、筋肉組織、松葉などの凍結粉碎
- 骨、歯、毛髪などの科学捜査用サンプルの粉碎
- 感染したヒトの組織から無傷の細菌細胞を得るための洗浄手順

酵母、微細藻類、バクテリアの細胞破碎（懸濁液）

バクテリア、酵母、糸状菌、微細藻類などの細胞を破壊することは、基礎生物学研究、応用バイオテクノロジー、医学研究において、核酸（DNA、RNA）、細胞タンパク質、代謝物などを得るための標準的なプロセスです。ラボスケールでは様々な方法で細胞を破壊することは可能ですが、化学薬品を用いて細胞膜や構造を破壊する方法と、機械的な方法に大別されます。機械的な方法では、Bacillusの孢子やMycobacteriumの細胞など、溶解させるのが難しい細胞の厚い壁を割ることができます。また、後続の抽出工程に影響を与える可能性のある化学物質の添加も必要ありません。

ビーズビート法は、ガラス、セラミック、スチールなどのビーズを用いて、簡単かつ効果的に細胞を破碎する方法として広く用いられています。ビーズと細胞懸濁液は、攪拌または振とうによって十分に混合され、ガラスビーズの大きな表面積から生じるせん断力によって細胞壁が破壊され、細胞成分が放出されます。ビーズビート法は、2mlの単回使用バイアルでの小規模な細胞破碎によく用いられるが、50mlの使い捨てファルコンチューブのような大きなバイアルに移すことも可能です。超音波などの他の機械的な方法に比べて、使いやすさ、クロスコンタミネーションのリスクなしに複数のサンプルを一度に処理できること、細胞成分の収量が多いことなどの利点があります。ビーズビート法の最も簡単な方法は、細胞懸濁液と同量のビーズを、実験室のボルテックスミキサーを用いて攪拌することです。しかし、この方法では、時間がかかり、エラーが発生しやすく、特にサンプルの処理量が多い場合や、細胞の破碎時間が10分程度になる場合には問題があります。レッチェのミキサーミルMM400は、様々なアダプターと組み合わせることで、再現性が高く、迅速で効率的なプロセスを実現します。

DNAやRNAの分離には、通常1ml以下の細胞材料が必要とされるため、細胞破碎には1.5mlまたは2mlのエッペンドルフ®チューブを使用します。レッチェでは、これらのバイアルに様々なアダプターがあり、最大で20サンプルをワンステップで処理することができます。しかし、タンパク質や代謝物の抽出には、より大量の細胞懸濁液が必要となるため、50mlのディスポーザブルチューブ（ファルコンチューブ）で細胞破碎を行うことが望ましいです。2mlと50mlの間に欠けていたサイズは、新しい5mlのエッペンドルフ®チューブで可能になり、MM 400でも使用できるようになりました。

粉碎事例：サッカロミセス・セレビスエの細胞破壊

細胞タンパク質の機能性などを研究するためには、約30mlの細胞懸濁液を破碎する必要があります。ミキサーミルMM400とコニカル遠心チューブ用アダプターを組み合わせた自動化プロセス（一度に8サンプル）を、手動で細胞破碎を行うボルテックスと比較しました。4gの酵母細胞に12gの破碎バッファーと16gのガラスビーズ（0.5mm-0.75mm）を加え、50mlチューブに入れてボルテックスすると、十分なタンパク質の収量を得るために、12×1分、氷上で1分間の中間冷却が必要でした。2つ以上のサンプルを同時に破碎するには、複数の人が複数のボルテックスを並べて作業する必要がありました。さらに、ユーザーごとの違いやハードウェアごとの違いを補うために、オペレーター間でサンプルを交換することが必須でした。ミキサーミルMM400を使用することで、研究室での作業が大幅に簡略化され、数サンプルの細胞懸濁液が最大30Hzの周波数で自動的に破碎することが出来ます。

細胞破碎に必要な時間を7分に短縮することで、12分間のボルテックス後よりもさらに優れたタンパク質収量を得ることができます（図1）。MM 400を使った自動化プロセスのもう一つの利点は、細胞破碎時の細胞懸濁液の温度上昇が少なく、再現性が高いことです（図2、3）。

図1：ボルテックスとミキサーミル MM 400を用いた細胞破碎後の全タンパク質濃度。ボルテックスでは12分かかったのに対し、MM400では7分で必要なタンパク質の収量が得られている。

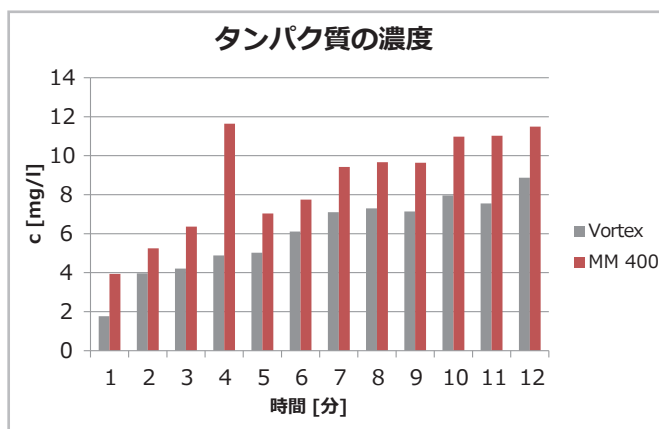


図2：MM400（30Hz）またはボルテックスでの細胞破碎時の温度上昇。MM 400（30Hz）またはボルテックスで細胞破碎を行った際の温度上昇（1分ごとに氷上で冷却）

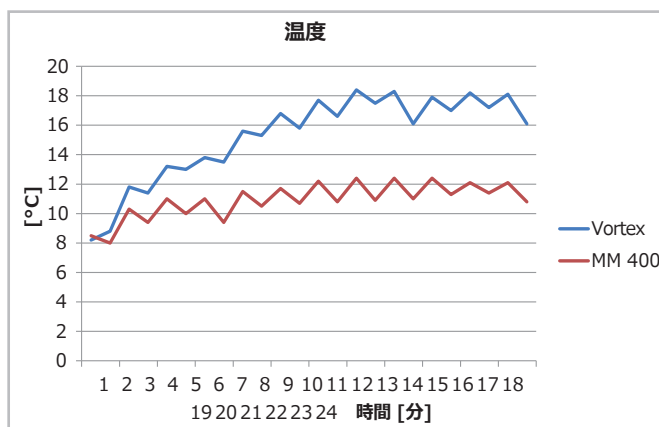


図3：細胞破碎後の総タンパク質濃度の再現性向上、MM 400で7分、Vortexで12分、エラーバー：%標準偏差

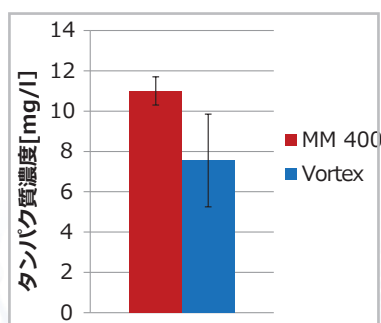
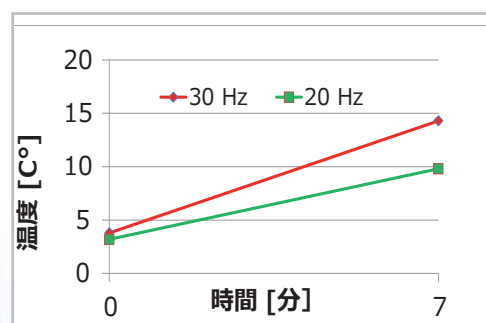


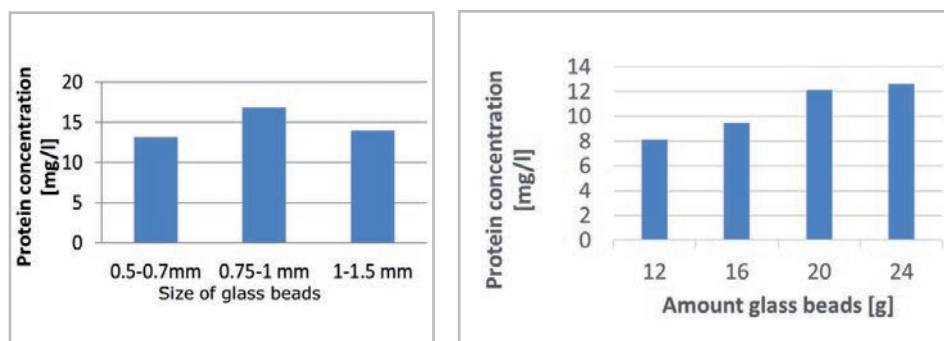
図4：温度上昇、20Hzまたは30Hzで7分間のMM 400、氷上での中間冷却なし



酵母細胞の破碎は、振動数とビーズサイズを変えることで最適化された。タンパク質の抽出では、振動数を20Hzに下げることによって、泡立ちが少なくなり、総タンパク質量がわずかに増加し、さらに、20Hzでは30Hzに比べて温度上昇が少なくなりました（図4）。

細胞破碎の結果は、0.5 mm-0.75 mmではなく0.75 mm-1.00 mmサイズのガラスビーズを使用し、質量を24 gにすることで、わずかに改善されました（図5）。

図5: MM400での細胞破碎の最適化。ビーズサイズを0.75~1 mmに設定すると、タンパク質濃度が最も高くなる(左)。ビーズサイズを0.75~1mmにすると、タンパク質濃度が最も高くなる(左)；タンパク質濃度はビーズの数に影響される(右)。



別のアプローチでは、MM400を使った酵母の細胞破碎プロセスを超音波と比較しました。さらに、2mlの単回使用チューブまたは50mlのコニカル遠心チューブでの細胞破碎後のタンパク質濃度を比較しました。5分後にビーズを叩いて得られたタンパク質の収量は、超音波処理で得られた収量に比べて約6倍でした(結果は示されていません)。1mlの細胞懸濁液(2mlチューブ)と25mlの細胞懸濁液(遠心チューブ)の差はごくわずかでした。

手動のボルテックスや超音波処理などの他の方法に比べて、自動細胞破碎プロセスの明らかな利点が明らかに証明されました。この方法は、タンパク質の収量が多く、再現性に優れ、多数のサンプルを同時に処理することができ、破碎中の細胞懸濁液の温度上昇を許容範囲内に抑えることができます。

粉碎例：微細藻類の細胞破壊

珪藻のような微細藻類の細胞破碎は、細胞がガラスビーズによるせん断効果に抵抗する傾向があるため、困難を伴います。これまでは、ガラスビーズとシェーカーを組み合わせる珪藻類の細胞破碎を行ってうまくいかなかったため、フレンチプレスを使って細胞を破碎していました。微細藻類の細胞破碎には、他のシェーカーとは異なり、ミキサーミルMM400とコニカル遠心分離管用アダプターの組み合わせが適しています。

300mlのThalassiosira pseudonanaという生物の細胞懸濁液を遠心分離し、20mlの破碎用緩衝液に再懸濁し、50mlのコニカル遠心管に充填し、40mlのガラスビーズ(90µm~150µmおよび300µm~400µm、比率1:1)を加え、20Hzで20秒間、細胞破碎を行い、完全な細胞破壊が顕微鏡で確認できました(図6)。

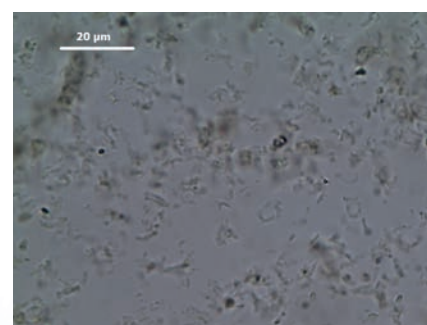
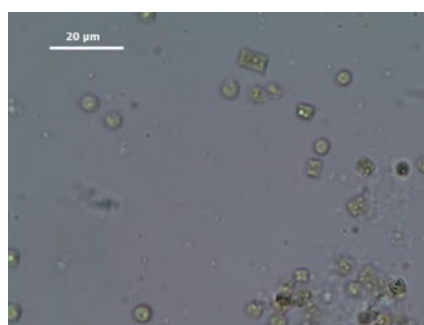


図6: ミキサーミルMM 400と50 mlチューブ用チューブアダプターを組み合わせ、破壊前(左)と破壊後(右)の珪藻類Thalassiosira pseudonanaの細胞。50mlチューブ用チューブアダプターと組み合わせ、20秒間、20Hzで行った。

MM400は、ケイ酸塩の細胞壁がないためにせん断効果に抵抗しやすい藻類のPhaeodactylum tricornutumの細胞を完全に破壊することもできました。200mlの細胞培養物を遠心分離し、20mlの破碎用バッファーに再懸濁し、50mlのコニカルチューブに移し、40mlのガラスビーズ(90µm~150µmおよび300µm~400µm、比率は1:1)を加え、30Hzで3×60秒以内に細胞破碎を行った。合計3分後、無傷の細胞は顕微鏡で見えなくなりました(図7)。

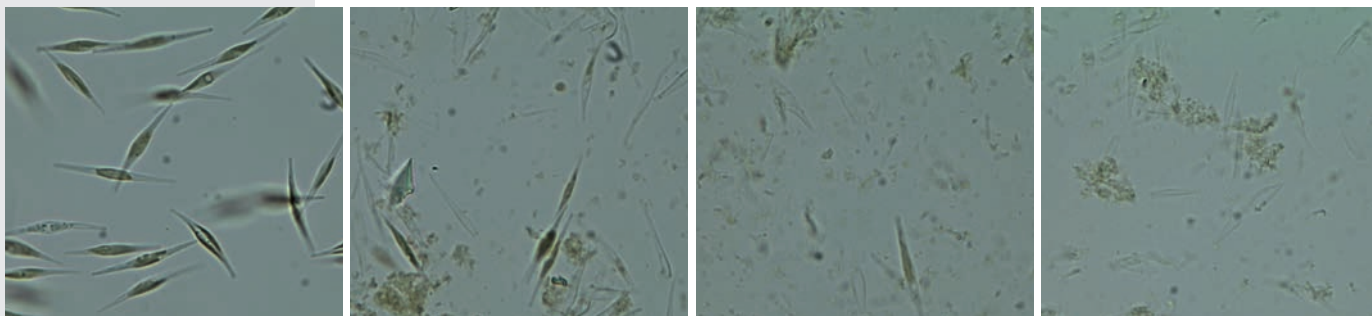


図 7: Phaeodactylum tricornutum の細胞。ミキサーミル MM 400 と円錐形遠心分離管用アダプターを併用した細胞破碎前（左）と破碎後（中、右）の様子。30Hz で 60 秒 × 3 回。

フレンチプレスを使った方法と比較して、MM 400 を使ったビーズビート法は、8 つのサンプルを同時に破碎できるため、時間がかからず、クロスコンタミネーションのリスクも軽減されます。他のシェーカーではなく、MM 400 を使用することをお勧めします。なぜなら、MM 400 は、ビーズビートによる破碎に抵抗を示す細胞でさえも効率的に破碎できるほど強力な剪断力を発生させるからです。

痰や肝臓のような軟らかくて硬い生体試料や痰や肝臓などのホモジナイズ

生物試料の調製とホモジナイズは、試料そのものと同様に困難な場合があります。広く使用されている 2ml の単回使用チューブでは、サンプル全体を収容するには十分ではないことが多く、そのため、ホモジナイズ処理後にサンプルを分割して再結合する必要があり、実験室での作業に時間がかかることになります。確かに、ステンレス製などの大きなサイズの粉碎ジャーであれば、全サンプル量を収容することができますが、使用後に洗浄が必要になるという欠点があります。レッチェでは、容量が大きく洗浄不要の 5ml シングルユースチューブをご用意しています。レッチェでは、ミキサーミル MM400 に 5ml チューブを 3 本装着できるアダプターを新たに用意しました。生体試料の性質は、例えば、嚢胞性線維症患者の非常に硬い痰や、肝臓、肺、腫瘍などの組織試料など、非常に様々です。以下では、これらのサンプルをホモジナイズするための、5ml シングルユースチューブ用の新しいアダプターを備えた MM 400 の使用方法について説明します。

粉碎例：嚢胞性線維症患者の非常に硬い喀痰の均質化

嚢胞性線維症の患者が吐き出した痰は、通常の診断のためだけでなく、研究のためにもホモジナイズされます。ミキサーミル MM400 で簡単にホモジナイズできますが、これまでは 2ml のバイアルを使用していたため、1 つの痰サンプルから 1ml 以上を採取することはできませんでした。固くて粘性のある痰をホモジナイズするために分割することは、部分的に感染性のある物質には適した手順ではありませんでした。もう一つの選択肢は、徹底的な洗浄が必要なステンレス製の 5ml 粉碎ジャーを使用することでした。5ml リアクションチューブ用の新しいアダプターを使えば、使い捨てバイアルの利点と大容量化が両立する。試験では、最大 3ml の試料を、2~3 個の酸化ジルコニウム製粉碎ボール（直径 5mm）を用いて、30Hz で最大 2.5 分間ホモジナイズしました。サンプル全体を 5ml のチューブに入れてワンステップで処理できるようになったことで、時間短縮と作業負荷の軽減が図られ、感染の可能性のある物質の取り扱いも最小限に抑えられます。

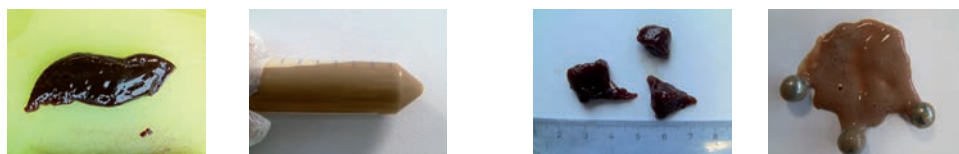


図 8：5ml チューブを 5 本収納できる MM 400 用アダプター

粉碎例：肝組織のホモジナイズ

肺、肝臓、腫瘍などの組織サンプルは、生物学的基礎研究、毒物学、生物医学、薬理学、分子診断など様々な分野で日常的に検査されています。ここでユーザーが直面する問題は、喀痰をホモジナイズする際の問題と似ています。そのため、新しい5mlシングルユースチューブとミキサミルMM400の組み合わせは、このアプリケーションにおいても効果的なホモジナイズのための良いソリューションとなります。肝臓のホモジナイズのために、粉碎ボールの大きさや数、サンプル量の組み合わせをいくつかテストしたところ、10mmのボールをいくつか使った方が、小さいボールをたくさん使った場合よりも、組織構造に対するサイズダウン効果はるかに高いという結果が得られました。

図9：MM400でのホモジナイズ前後の肝臓サンプル



新鮮な肝組織3gを完全にホモジナイズするためには、10mmのステンレス製粉碎ボールを3個使用するのが最も効果的でした。反応バイアルには、最大充填ラインまで水性バッファを充填し、その後、30Hzで5分間ホモジナイズしたが、処理後に組織の残留物は見られませんでした（図9）。同じグレードのホモジナイズは、以下のパラメータを持つ円錐形遠心分離管でも達成できます。4個のステンレス製ボール（20 mm）、15 gのサンプル、バッファ、30 Hz、3分。サンプル/粉碎ボール/バッファの重量のため、遠心管では一度に4サンプルしか処理できません。いずれの場合も、温度上昇はごくわずかです。

細胞ペレット、筋肉組織、松葉の凍結粉碎

緩衝剤がない状態でも、柔らかいものや硬いもの、また繊維質の生体試料を粉碎することは可能です。繊維質の植物、非常に硬い静脈や爪、動物や腫瘍の組織などは、バッファシステムでのホモジナイズはあまり効果的ではありません。しかし、粉碎前または粉碎中に液体窒素やドライアイスでサンプルを凍らせる低温粉碎は、均一に粉碎されたサンプルを得るための非常に良い方法であることが証明されています。ピーズビート法とは異なり、粉碎前に試料を凍結させる方法は、酵母などの細胞内小器官を破碎するのにも適しています。低温粉碎のもう一つの利点は、非常に低い温度で粉碎できることで、タンパク質の分解を防いだり、粉碎時に発生する可能性のある揮発性成分の損失を大幅に減らすことができます。ベリーののような粘り気のあるサンプルでは、低温粉碎が唯一の方法となることもあります。同一遺伝子のサンプルを得ることができず。表1は、ミキサミルMM400やクライオミルでの凍結粉碎に成功した試料の概要です。

試料	アクセサリ	投入量	粉碎時間	速度	最終粒度 (d90)/結果
E.大腸菌	- 粉碎ジャー2個 ステンレス製 50ml - ステンレス製25mmボール2個	2 x 10 ml 凍結した細胞ペレット	2 min	30 Hz	完全な細胞破壊
筋肉組織	- 粉碎ジャー ステンレス製 50ml - 粉碎ボール 25 mm ステンレス鋼	10 g	4 min	25 Hz	<150 µm
松葉	- 2mlの反応バイアル10本用アダプター2個 - ステンレスボール5mm×2個/バイアル	2 針/ バイアル	3 min	30 Hz	20サンプルのRNA抽出をワンステップで再現可能
ベリー類	- 50ml用ステンレス製粉碎ジャー - ステンレス製粉碎ボール 4個	2 g	40 secs	20 Hz	<200 µm
指の爪	- アダプターCryoMill (2mlバイアル4本用) - 粉碎ボール ステンレス製 5mm 4個/バイアル	1 爪/バイアル	2 min	25 Hz	<200 µm
ラットの腸	- 粉碎ジャー ステンレス製35ml - 粉碎ボール ステンレス製20mm 1個	1.8 g	2 min	30 Hz	<150 µm

表1: 液体窒素を用いた凍結粉碎で粉碎されたさまざまな生物試料

図10：低温粉碎前後の肉片



図11：低温粉碎前と粉碎後の粘性の高いベリーの

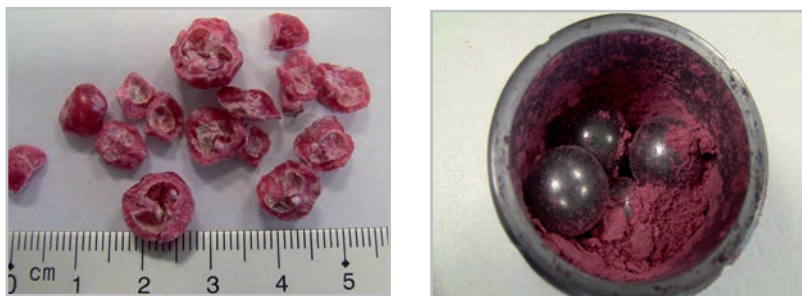


図12：凍結粉碎前後の松葉（RNA分融用のアガロースゲルを含む）粉碎後のRNAの量と再現性の高さを示す。



凍結粉碎に適したラボ用粉碎机

少量のサンプルには、ミキサーミルMM 400またはクライオミル（図13）の使用が効果的です。MM 400の粉碎ジャーは、スチール製またはPTFE製で、1.5または2mlのシングルユースのバイアルも使用できます。粉碎ジャーやチューブの中に液体窒素が入っていないように注意しなければなりません。粉碎時に発生する熱で液体窒素（LN2）が気体になり、粉碎ジャー内の圧力がかなり上昇する為です。密閉された粉碎ジャーは、トンクを使って、液体窒素が入った断熱容器に2～3分入れられた後、MM400にクランプされます。高いエネルギー入力とそれに伴う摩擦熱のため、サンプルの温度上昇を防ぎ、その破壊特性を維持するために、粉碎プロセスは3分を超えずに稼働させなければなりません。もし長時間の粉碎が必要な場合は、密閉した粉碎ジャーを途中で冷やして中断する必要があります。

レッチェでは、液体窒素で粉碎ジャーを連続的に冷却するクライオミルを開発しました。これにより、長時間の粉碎でも粉碎ジャーと試料の温度を常に-196℃に保つことができます。中間冷却が必要な場合は、粉碎と冷却のサイクルをプログラムすることができます。粉碎ジャーは粉碎中も本体の中にあり、ユーザーが液体窒素に触れることはありませんので、クライオミルの操作は非常に安全です。自動予冷機能により、-196℃の温度に達する前に粉碎プロセスが開始されることはありません。重金属を含まない粉碎のために、酸化ジルコニウム製の粉碎ジャーも用意されています（クライオミル用）。



図13：50リットルの液体窒素自加压容器を備えたクライオミル



図14：レッチェでは様々なタイプの
のカッティングミルをご用意して
います。

フォレンジックサンプル（骨、歯、毛髪）の粉砕

毛髪、骨、歯などの法医学材料はほとんどが脆いため、通常は粉砕前に冷却する必要はありません。分析に必要な細かさに応じて、ジョークラッシャーやカッティングミルで予備粉砕を行い、ボールミルでの処理に十分な大きさ（10mm以下）にする必要があります。カッティングミルは、新鮮で完全に乾燥していない骨や、肉の残滓を含む骨の予備粉砕に使用します。レッチェでは、軟質、中硬質、弾性、強靱、繊維質の試料を一次粉砕するカッティングミルシリーズ（図14）を用意しています。豊富な付属品により、様々なアプリケーションに完璧に対応できます。SM300には、3種類のローターと0.25mm～20mmのボトムシークを装備することができます。新鮮な骨や脂肪分の多い骨とは対照的に、乾燥した骨は1～2ステップで0.25mm以下のサイズにすることもできます。破砕挙動や温度感受性などのサンプル特性に最適に対応できるよう、SM300は100～3,000 rpmの可変速度を備え、硬い骨も粉砕できるパワフルな装置です。

アプリケーション例 骨

以下の例では、700gの骨をSM300で予備粉砕しました。6枚のディスクローターと6mmの目開きのスクリーンを使用しました。3000 min-1でわずか30秒で骨を粉砕したところ、6mm以下の破片が得られました（図15）。

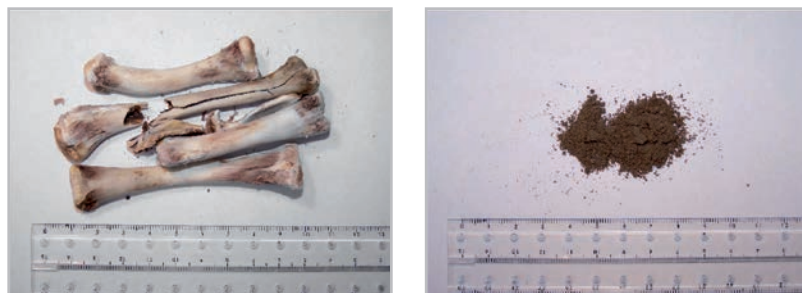


図15：SM300カッティングミルでの粉砕前と粉砕後の骨試料

骨や歯の粉砕には、主にボールミルを使用し、鋼、酸化ジルコニウム、炭化タングステン製の5mm以上の粉砕ボールを使用します。大きな粉砕ボールは、非常に硬い試料を衝撃で粉砕するのに十分な粉砕力を持っています。上記の例では、事前に粉砕した骨をミキサーミルMM400で粉砕しました。1gのサンプルを酸化ジルコニウムの35mlの粉砕ジャーに充填し、20mmの酸化ジルコニウムの粉砕ボールを使って微粉砕しました。30Hzで2分後、サンプルは200μm以下の粒子に粉砕され、核酸の抽出に適した状態になりました。サンプルが非常に硬い場合は、液体窒素で脆化させると破断挙動が改善されます。

アプリケーション例 歯

また、歯の粉砕もその一つです。酸化ジルコニウムを入れた25mlの粉砕ジャーに1個を加え、同じ材料の20mmの粉砕ボールを使って粉砕しました。MM400で30Hz、3分後、試料はほとんどが100ミクロン以下の粒子の粉末になりました（図16、右）。



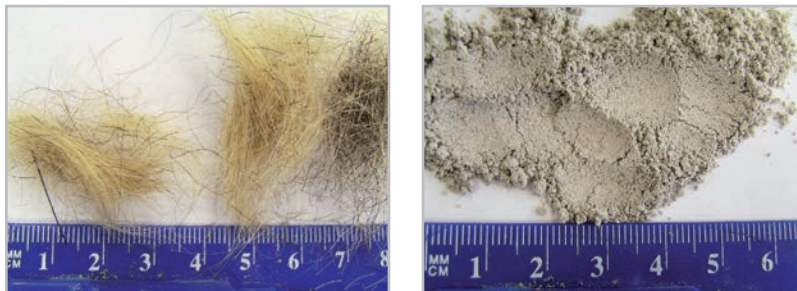
図16：MM400ミキサーミルでの粉砕前と粉砕後の歯の状態

アプリケーション例 髪

MM 400と、凍結粉碎用に特別に設計されたクライオミルは、毛髪のような繊維質のサンプルの粉碎にも適しています。興味深いことに、非常に健康な髪の毛は極低温で粉碎する必要がありますが、不健康な髪の毛は壊れやすいので常温で粉碎できます。骨や歯のようにコンパクトな試料とは対照的に、毛髪の粉碎には衝撃よりも摩擦が必要なため、より小さな粉碎ボールを使用するのが最適です。また、粉碎時間にも注意が必要で、焦げやすくなるため、できるだけ短くしなければなりません。

例えば、1gの髪の毛を、直径10mmのステンレスボール6個を入れた25mlのステンレス製の粉碎瓶に入れます。25Hzで2分間粉碎すると、サンプルは160μm以下の大きさに粉碎され（図17右）、薬物管理などの分析に適した状態になります。

図17：MM400で微粉碎する前と後の人毛



レッチェの粉碎機を使えば、様々な法医学サンプルを簡単に粉碎して、分析や核酸の抽出ができます。また、骨のような大きなサンプルも、予備粉碎と微粉碎の2ステップで簡単に準備できます。

ヒト組織からインタクトなバクテリア細胞を得るための洗浄手順

肘や膝などの関節を人工的に置換した後、感染症が発生することがあります。人工関節置換術の主なリスクの1つは、様々な種類の細菌によって引き起こされる、いわゆる人工関節感染症

(PJI) です。例えば、人工関節感染症の後、診断のために培養できるように、組織サンプルに付着した細菌を破壊せずに洗い流さなければなりません。現在では、手術室、手術手技、予防的な抗生物質、慎重な患者選択など、何度も改良が加えられているが、報告されているPJI発生率は2%台であり、毎年かなりの数の感染が発生していることとなります。PJIは、外科手術後3日以内に発症することもあります。発症するまでに数年かかることもあります。非常に異なる微生物がPJIを引き起こすため、質的療法の分類は非常に複雑です。残念なことに、使用する方法によっては文書化率に限界があり、多くの場合、従来の方法では感染を文書化することができません。ここで、ミキサーミルMM400の出番です。手順は簡単です。オートクレーブをかけたスチール製のジャーに、サンプルを20mlの滅菌した脱塩水と5mlの直径1mmのガラスビーズで希釈します。使い捨てのジャーを使用することも可能で、その場合は30Hzで3.5分間攪拌します。このプロセスでは、微生物は破壊されることなくサンプルから洗い流され、後に寒天プレート上で簡単に再現できるようになります。この方法では、良好なドキュメント作成率が得られます（A.-L. Roux et al 2010）。この方法は、移植物の有無にかかわらず、基本的にあらゆる固体感染組織サンプルに使用することができます。

手順の詳細な説明については、以下を参照してください。

A.-L. Roux, V. Sivadon-Tardy, T. Bauer, A. Lortat-Jacob, J.-L. Herrmann, J.-L. Gaillard and M. Rottman: Diagnosis of Prosthetic Joint Infection by beadmill processing of a periprosthetic specimen; Clinical Microbiology and Infection, 2010, European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, CMI, 17, 445-450.

ミキサーミルMM400 : オールマイティな卓上ボールミル

レッチェのミキサーミルMM400は、豊富なアクセサリーにより、非常に多様な使い方ができることを示しています。レッチェのミキサーミルMM400は、50mlのコニカルチューブや0.2/1.5/2/5mlのシングルユースバイアルでの細胞破碎に最適です。MM400は、植物、松葉、羽毛、骨、細胞組織、医薬品、木材、鉱物、化学物質など、硬いもの、半硬いもの、脆いもの、柔らかいもの、弾力のあるもの、繊維質のものなど、さまざまな素材の破碎や粉砕に使用できます。最大周波数30Hzで動作し、試料によっては5μmまでの粉砕を実現しています。



図8 : ミキサーミルMM400と
50mlコニカル遠心分離管8本用
アダプター (下) , シングル
ユース反応バイアル用各種アダ
プター

詳しい情報、アプリケーションビデオ、パンフレットはこちらをご覧ください。

www.retsch.jp/mm400

www.retsch.jp/cryomill