利用小型触摸屏设备上的 T9键盘提升年长者的手势输入体验

EMILY KUANG,Golisano计算与信息科学学院 罗切斯特理工学院，美国RUIHUAN CHEN,信息学院 罗切斯特理工学院，美国MINGMING FAN*， 计算媒体与艺术方向 香港科技大学（广州），中国，以及整合系统与设计学部 & 计算机科学与工程学系 香港科技大学，中国

arXiv:2303.03626v1 [cs.HC] 7 Mar 2023

老年人越来越多地采用小屏幕设备，但有限的运动灵活性阻碍了他们进行有效打字。虽然9键（T9）键盘为每个按键分配了更大的空间，但一个按键由多个连续字母共用。因此，用户在输入连续字母时必须中断手势，导致效率低下和用户体验不佳。为此，我们提出了一种新型键盘，利用目前未使用的1键重复前一个按键中的字母，使用户无需中断即可输入连续字母。对12名老年人开展的用户研究表明，与带摆动手势的 T9相比，该键盘在打字速度、KSPC、插入错误和每词删除次数方面均显著更优，同时达到了与传统T9相当的绩效。让12名年轻人重复打字任务后发现，新型T9的优势保持不变或进一步增强。我们还提供了错误分析和设计考量，以改进面向老年人的T9手势输入。

ACM计算分类系统概念：**• 以人为中心的计算 → 无障碍领域的实证研究**；**人机交互实证研究**；**• 社会与专业主题 → 老年人**。

Add附加关键词和短语：手势输入、文本输入、小型触摸屏设备、老年人、T9键盘

ACM参考文献格式：
Emily Kuang、Ruihuan Chen 和 MingmingFan。2023年。利用小型触摸屏设备上的 T9键盘提升年长者的手势输入体验。载于*2023*年 *ACM*计算机系统人因大会论文集（*CHI '23*），*2023*年*4*月*23*日至*28*日，德国汉堡。ACM，美国纽约州纽约市，25页。https://doi.org/10.1145/3544548.3581105

1 引言

当今世界正经历两个领域的快速增长：人口老龄化和技术普及。世界卫生组织预测，全球60岁以上人口的比例[1] 预计将在2015年至 2050 [45]期间从12%升至22%。尽管老年人使用技术的比例低于年轻人，但他们对计算机、智能手机及其他形式技术的使用仍呈爆发式增长 [10]。在美国，2013年有18%的老年人拥有智能手机，而仅仅四年后，这一数字就增加了一倍多，达到42% [3]。此外，2020年对瑞士1824名老年人进行的一项调查显示，多达6.6%的人拥有智能手表 [53]。老年人在智能手表上使用的主要服务包括打电话、保持

*通讯作者[1]我们遵循联合国的定义，将年满60岁的人称为“老年人” [41]。

允许为个人或课堂使用而免费制作本作品全部或部分内容的数字副本或纸质副本，前提是这些副本不得用于或分发以获取利润或商业利益，并且副本须附有本声明及首页的完整引文。对于本作品中由作者以外人士拥有版权的组成部分，必须尊重其版权。注明出处后，允许摘录。若要以其他方式复制、重新发布、发布至服务器或分发至列表，须事先获得明确许可和／或支付费用。请联系 permissions@acm.org 申请许可。© 2023年 版权所有归所有者／作者所有。出版权已授权给 ACM。稿件已提交至 ACM

记录他们的健康信息（例如，计步器和心率监测器），并接收通知 [16, 39]。为了实现健康追踪功能，智能手表应用需要老年人输入文本。例如，参与者全天通过智能手表实时输入疼痛评分 [39]。然而，由于屏幕较小以及运动灵活性随年龄增长而下降，老年人可能难以在智能手表界面上准确、高效地打字 [23, 42, 60]。此外，有些老年人甚至因文本输入困难，在发送短信时感到惊慌 [30]。在小屏幕设备上输入文本本身就很困难，因为用户需要用相对较大的指尖触及小目标 [34, 54]。这类设备（尤其是智能手表）通常采用T9键盘——一种基于 3×3 布局的预测文本技术 [28, 49]。与包含26个按键的QWERTY布局相比，T9在每个按键上分配3至4个字母，因此每个按键占用的空间更大，从而减少输入不准确的情况（例如由粗手指问题导致的情况） [54]。目前，T9键盘可用于搭载Android WearOS（例如KeyOboard [11]）和iOS（例如WatchKey [33], Type Nine [48]）的商用设备。T9也是三星Galaxy Watch的默认键盘 4 [50]。鉴于T9在效率和小型设备上的优势，目前已有研究致力于优化T9键盘（例如，Optimal-T9采用了计算方法 [49], ，SmartVRKey则探索了在虚拟现实环境中使用T9 [1]）。此外，T9键盘曾于21世纪初应用于功能手机，许多老年人都熟悉这种布局 [18]。因此，我们希望探究如何改善老年人在小屏幕设备上使用T9键盘输入文本的体验。

随着触摸屏键盘逐渐取代实体键盘，许多用户开始采用手势输入，只需连续移动一次即可输入一个单词 [64]。与点击输入相比，手势输入不要求用户精确操作触摸位置；由于容错性更好 [63] ，且能提供触觉反馈 [49]，因此已被用于小屏幕上的文本输入。近期研究表明，手势输入对老年人尤其有潜力。在一项比较智能手机QWERTY键盘上手势输入与点击输入的实验中，老年人使用手势输入时速度快了15%，错误率低了27% [34]。受这项研究启发，我们希望调查老年人在智能手表T9键盘上使用手势输入的情况。

尽管T9键盘和手势输入各自具有优势，但直接在T9键盘上进行手势输入仍面临许多重要挑战。在传统T9键盘上进行手势输入时，由于两个连续字母共用同一个按键，手势不可避免地会中断，从而导致输入效率低下和用户体验不佳。例如，如图1所示，输入单词“APPLE”时，滑动手势从2键移至7键以输入“AP”，但随后必须中断手势（在7键上暂停或抬起指尖），重新输入字母“P”，之后再滑至5键和3键以完成单词。因此，在手势输入包含连续字母的单词时，用户必须多次抬起手指进行多个手势，或在没有视觉或触觉反馈的情况下暂停一段不确定的时间。根据高频词列表 [12], 68 ，220个高频非名词中有30.9%（即其中的68个），95个高频名词中有47.4%（即其中的45个）受到T9键盘手势输入这一限制的影响。这些对打字体验造成的负面影响以及该问题的高发生频率，表明有必要进一步研究如何在不中断笔画流畅性的情况下，改善小屏幕设备上T9键盘的手势输入体验。

为满足这一需求，我们提出了一种新型键盘，在保留传统布局的同时增强了 T9键盘上的手势输入。由于1键目前没有分配任何字母，我们利用这一空位复制上一个已输入按键对应的字母。这样，用户就可以从其他 8 个按键中的任意一个滑动到 1 键，重复输入同一个字母，而无需在某个按键上停顿或抬起手指。为了评估我们提出的键盘，我们开展了一项用户研究，对比带增强按键 1 的 T9 与传统T9



图 1. 如果用户想在传统T9键盘上通过手势输入“苹果”，必须先从 2 键滑动到 7 键，然后在 7 键上停顿或抬起手指，再继续改变滑动方向，移至 3 键。

以及 Billah等人提出的带摆动手势的 T9 [9], ，该方法要求用户在同一个按键内改变方向三次，以输入连续的字母。我们针对 12 名 61 至 72 岁的老年人开展了一项被试内研究（$Mean = 64.8,\ SD = 3.72$），请他们使用这三种方法，输入从 Mackenzie短语集 [37] 中随机选出的 20 个短语。为了了解年龄是否会影响三种键盘的绩效和偏好，我们还招募了 12 名年轻人完成同一组打字任务。随后，我们从打字表现和主观反馈两个方面比较了这三种 T9文本输入方法。

我们的主要研究发现表明，对于老年人而言，带增强按键 1 的 T9 在打字速度、每字符击键数（KSPC）、插入错误和每词删除次数方面均显著优于带摆动手势的 T9，同时与传统T9表现相当。带增强按键 1 的 T9 对年轻人的优势更为明显：其打字速度和 KSPC 显著更佳，插入错误也少于另外两种方法。75%（9 名）老年人选择带增强按键 1 的 T9 作为自己最喜欢的输入方式，而所有年轻人都选择了它。尽管新型 T9 与传统T9在老年人中的表现差异并不显著，但学习曲线和参与者的反馈表明，随着时间推移，这种方法可能带来切实可行的改进。无论对老年人还是年轻人，带摆动手势的 T9 都是最不受欢迎的输入方式，并导致工作负荷显著增加（依据 NASA-TLX 评分），打字表现也较差。总体而言，本研究提出的方法证明，无需调整标准布局，也能优化 T9键盘上的手势输入表现和用户体验。总之，我们的贡献如下：

- 我们提出了一种在 T9键盘上进行手势输入的新方法：利用 1键复制之前输入的按键所对应的字母。
- 通过一项针对 12 名老年人和 12 名年轻人的用户研究，我们从绩效和主观评价两方面展示了带增强按键 1 的 T9 的优势。
- 我们为改进老年人的 T9 手势输入提供了设计考量。

2 相关工作

我们的研究受到两个主要领域既有工作的启发并以其为依据：老年人的文本输入，以及优化 T9键盘的策略。

2.1 老年人的文本输入

2.1.1 手势输入的优势。Zhai 和 Kristensson [64] 提出了影响用户是否接受某种文本输入法的三个关键因素，即输入速度、学习成本和增长。从速度方面来看，手势

输入凭借容错性和单指操作的特点，优于点击输入 [64]。研究人员对老年人的手势输入进行了研究，发现它比点击输入更快，而且老年人很容易学会 [34]。这可能是因为在触屏交互中，用手指从一处滑动到另一处是常见操作，因此老年人会觉得使用手势进行文本输入更加自然 [34]。手势输入尤其允许用户以大致的形状和位置输入单词，这使其具有容错性 [9]。这一点在老年人身上尤为明显：使用手势输入时，他们的错误率更低 [34]。此外，与年轻人相比，老年人的手势准确度并未明显下降，说明这是一种很有前景的输入方式 [34]。这些令人鼓舞的结果促使我们进一步探索如何改善老年人的手势输入体验。

2.1.2 使用*T9*键盘。受此前关于老年人在QWERTY键盘上使用手势输入优势的研究启发，我们希望探究在T9键盘上进行手势输入的效果。对于小屏幕设备而言，T9布局尤其具有优势，因为将多个字母组合到一个按键上能够增大每个按键的尺寸。增大目标按键的尺寸可以使输入更加容易，这符合菲茨定律 [17]。较大的按键尺寸对老年人尤为重要，因为随着年龄增长，他们的运动控制能力和视力敏锐度都会下降，前者表现为动作更缓慢且变化更大，后者也会受到影响 [23, 42, 60]。事实上，人们已经开发出仅包含五个按键的键盘，以支持文本输入并最大化移动设备的屏幕尺寸 [13]。然而，与这类键盘相比，T9具有更多优势，因为它是用户最熟悉的多字母键盘布局之一：该布局于21世纪初被采用，目前在Android WearOS和iOS上均可使用 [11, 18, 33, 48, 63]。保持熟悉的布局可能会降低学习成本，进而提高采用率，因为先前研究表明，较高的学习成本会对新手后续采用输入法产生负面影响 [64]。因此，在我们的设计中，我们结合了手势输入的优势以及T9键盘的大按键，以改善老年人在小屏幕设备上的文本输入体验和绩效。

2.2 优化 T9 键盘

2.2.1 解决歧义性。 尽管手势输入高效且容错性强，但在输入手势相似或相同的单词时，仍存在歧义性 [2]。尤其对于 T9 这类多字母布局，词语冲突问题（即单词对应相同的按键序列）是一个关键问题，可能导致准确率和速度降低 [49, 55]。Dunlop等人 [14] 尝试结合单字母布局（如 QWERTY）的无歧义特性，以及多字母布局（如 T9）较大的按键尺寸。QWERTH 是一种半歧义键盘，旨在增大按键大小并保持与 QWERTY 布局近似，但未考虑新键盘的易学性 [14]。类似地，Smith等人 [55] 开发了一种类 QWERTY 键盘，其错误率较原版 QWERTY 键盘分别降低了 52% 和 37%，但这种新方法增加了手势的路径长度。尽管目标是优化手势输入，他们的方法涉及调整键盘布局，首先考虑手势清晰度和 QWERTY相似度等指标 [55]。Smith等人 [55] 发现，参与者初次接触改进后的键盘时，调整布局可能会在短期内引发一些挫折，但长期使用后则可能带来益处。

2.2.2 应对可学习性问题。 其他研究者也发现了类似结果：基于按键重排的优化可能会带来学习曲线，使用户更不愿意采用新键盘 [8]。为了尽量降低学习成本，Bi 和 Zhai [8] 遵循了一条规则：每次只能交换两个相邻按键。尽管这在一定程度上解决了可学习性问题，但研究也表明，即使只交换一对按键，也会产生学习成本 [8]。他们发现，用户仍需有意识地改变已经基于原有布局养成习惯的手势

。对于T9键盘，Qin等人 [49] 通过引入QWERTY约束（即在 3 × 3 布局中采用QWERTY的字母排列）设计了Optimal-T9键盘，以确保其易学性。他们发现，Optimal-T9的表现优于传统T9和其他类似T9的布局，同时与26键QWERTY键盘相比，错误率大幅降低 [49]。尽管具有这些优势，T9键盘上与各个按键对应的字母位置仍然有所改变，这可能会给习惯传统字母排列的老年人带来挑战。综观这些研究，易学性显然是优化打字表现的重要因素，但调整按键排列不可避免地会使新布局的学习曲线变得陡峭。

2.2.3 老年人优化。 上述优化方法面向普通人群，而其他研究人员开始探索针对特定用户群体的基于能力的优化 [52, 62]。其中一个例子是一种计算方法，旨在改进存在认知障碍的老年人在触摸屏设备上使用的键盘设计 [51]。该优化器考虑了可能影响老年用户的参数，例如按键大小、每行按键数和行数 [51]。在对1至3行中每行2至10个按键进行试验后，优化器选择了 3 × 3 分组键盘设计，因为尺寸更大的按键能够改善视觉和运动功能缺陷 [51]。这与T9键盘采用相同的布局，对老年人具有类似的优势。然而，每个按键所对应的字母排列方式不同于任何现有键盘，因此易学性仍然是老年人面临的挑战。此外，上述研究均未解决滑动手势被连续字母中断的问题。因此，我们认为，在不修改传统键盘布局、也不改变各按键对应字母位置的情况下，存在改善T9键盘手势输入体验的机会。

3 方法

本节介绍所提出键盘的设计过程，以及对年长者和年轻人进行评估的流程。

3.1 键盘设计

3.1.1 增强*1*键的*T9*键盘。传统T9键盘将26个字母分配在2键至9键上。由于1键未被使用（即没有对应任何字母），因此它最适合用于增强功能。具体而言，我们提出可利用1键复制上一个输入按键中的字母。与以往的键盘优化（例如， [8, 49, 51, 52]）不同，我们保留了相同的按键排列，从而有效利用用户已有的熟悉度。根据先前研究指出的挑战，我们的设计目标是：（1）允许连续手势不中断；（2）保持相同的布局，以提高易学性。



图 2. 当 t　输入单词“苹果”时，滑动手势从 2键开始，滑至 7键，再到 1键，最后滑至 5键和 3键。Th　e 字母对应　与 1 键对应的位置会随着手指的移动而变化。

如图2所示，当用户输入单词“APPLE”时，最初的滑动手势仍从2键开始，然后移至7键以输入“AP”。随后，用户可以继续同一个手势滑至1键（该键会复制7键中的字母），完成剩余字母“PLE”的输入，而无需抬起手指再重新滑至7键。对于“MOON”这类包含较长重复字母序列的单词（如图3所示），用户可以在一个手势中从6键滑至1键，再滑回6键，然后再次滑至1键，而不必像使用传统T9键盘那样连续四次点击同一个按键。此外，1键会实时显示上一个输入的按键，并作为当前状态的视觉指示器，这符合尼尔森可用性启发式原则[43]。与传统T9键盘上用户的手指可能遮挡按键字母的情况不同，用户可以在1键上看到当前被手指遮住的字母。



图 3. 使用带增强 1键的 T9 键盘输入单词“MOON”时，滑动手势从 6键开始，滑至 1键，再滑至 6键，最后返回 1键。

3.1.2 带摆动手势的 T9。我们扩展了 Billah等人提出的另一种手势输入方法，该方法提升了手势输入的无障碍性，也可能对老年人有所帮助 [9]。如图4所示，摆动手势要求用户用手指在特定按键范围内画出一条波浪线。其实现方式是将X轴或Y轴上的滑动方向变化次数阈值设为大于三次 [9]。例如，如图4所示，对于目标单词“APPLE”，用户先从2键滑到7键以输入“AP”，随后可在7键上执行摆动手势，重新输入字母“P”。由于每个按键上都可以使用摆动手势，这与我们提出的增强型按键1不同，后者仅对单个按键进行了修改。我们希望探索摆动手势的潜在用途，因为它符合我们的设计目标：在输入连续字母时避免中断手势，同时保持相同的布局以提升易学性。



图 4. 使用带摆动手势的 T9 输入单词“APPLE”时，手势从 2键开始，滑至 7键，接着在 7键上画出“W”或“M”，最后滑至 3键。

3.2 键盘的实现

由于COVID-19疫情，我们设计键盘时力求便于分发，以便远程开展手势输入评估。因此，我们开发了一个基于网页的评估平台，其中包含传统T9、带增强按键 1 的 T9以及带摆动手势的 T9。这样，参与者无需安装任何额外软件即可访问评估平台，也降低了设备兼容性问题的风险。T9键盘的尺寸为34.8 mm × 28.6 mm，与市面上智能手表的显示区域大小相近，例如Apple Watch Series 3 [4]。我们遵循Dunlop等人提出的智能手表文本输入设计标准 [15]，该标准指出键盘应支持简单编辑（如退格键），并具有合理大小的目标区域（如 >7mm）。具体而言，此Web应用程序禁用了页面缩放，现代浏览器也能根据预设的CSS配置确保显示效果一致。虽然键盘模拟了智能手表的尺寸，但由于智能手机易于获取，且并非所有参与者都拥有智能手表，因此我们请参与者使用自己的智能手机。该应用程序使用TypeScript、Next.js和Nest.js构建，连接到MongoDB Atlas数据库，并部署在Heroku上。测试平台上的所有文本输入活动均由后台程序记录，包括时间戳和其他元数据，并同步至数据库。

3.3 手势键盘的评估

我们开展了一项经机构审查委员会批准的在线实验，以比较老年人使用上述三种键盘时的表现和行为。我们还对年轻人开展了相同的实验，以了解打字表现的趋势以及对某种键盘的主观偏好是年龄特有的，还是在不同年龄范围内都一致。我们并未专门比较老年人与年轻人之间的打字表现，因为我们的目标是了解这三种键盘之间的模式是否在不同年龄组中保持一致。以往研究已经表明，老年人的打字速度往往比年轻人慢，且会犯更多错误 [26, 34]。

3.3.1 参与者和实验设备。 我们通过邮件列表和滚雪球抽样招募了12名年龄在61至72岁之间的老年人（7名女性）（$Mean = 64.8,\ SD = 3.72$）。我们还通过在大学和研究小组频道发布招募信息，招募了12名年龄在20至32岁之间的年轻人（5名女性）（$Mean = 26.1,\ SD = 3.41$）。所有参与者都具备一般的英语专业熟练度或英语母语水平，能够完成打字任务。

表1显示，平均而言，老年人对在触摸屏上打字非常熟悉，对T9键盘较为熟悉，但对手势输入仅略有了解。年轻人对在触摸屏上打字极为熟悉，但对手势输入和T9键盘的熟悉程度较低。

参与者被要求使用自己的智能手机完成打字任务。在全部24名参与者中，14人使用iPhone，10人使用安卓手机。研究还要求他们使用惯用手的食指进行手势输入（22人为右撇子，2人为左撇子），同时用另一只手握住手机。

3.3.2 流程。研究流程如图5所示。参与者通过Zoom与研究人员连接，听取关于研究任务的说明，并按照指示使用自己的智能手机访问测试平台链接。由于本研究采用被试内设计，自变量为键盘类型，因此所有参与者都必须使用Web应用程序中的全部三种键盘完成打字任务，如图6.d)所示。T9键盘的使用顺序经过平衡处理。对于每种键盘，参与者首先会观看一段视频

表1. 老年人和年轻人对触摸屏、手势输入和T9键盘的熟悉度及使用年限（五点量表：1 - 完全不熟悉，5 - 极其熟悉）。

	老年人	年轻人
打字熟悉度 触摸屏上的	中位数=4，四分位距=1	中位数=5，四分位距=1
触摸屏使用年数情况	M=8.17 ，SD=2.48	M=9.33 ，SD=1.72
手势输入的熟悉度-手势输入	中位数=2，四分位距=1	中位数=2.5，四分位距=1
手势打字年限-使用情况	均值=1.33，标准差=1.87	均值=1.50，标准差=2.20
对 T9 的熟悉度 键盘	中位数=3，四分位距=2	中位数=2，四分位距=2
T9键盘使用年限 使用	M=1.21，SD=2.81	M=2.25，SD=3.11

教程，了解如何输入单词，随后进行3分钟的练习环节，试用该键盘。他们需要使用两种T9变体所介绍的特殊功能来输入连续字母。

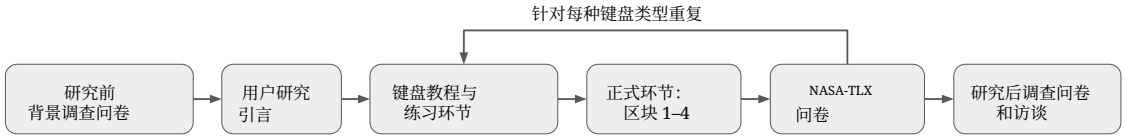


图5. 每位参与者所遵循的研究流程图。

每种类型的T9键盘任务均包含从Mackenzie短语集 [37]中随机选取的20个短语，分为4个区块，每个区块包含5个短语。参与者需要通过在按键上滑动并从候选列表中选择词语，使用键盘转录目标短语。候选列表由一元语言模型提供支持，该模型会推荐与输入序列匹配的最常见词语。从候选列表中选择词语后，系统会自动添加空格，因为这被视为预测键盘的一项优势 [64]。对于传统T9，抬起手指不会触发自动加空格，只有在选择词语后才会添加空格。我们还告知参与者，选定词语后便无法再修改，应继续转录下一个词，这与以往研究 [42]一致。此设计使我们能够评估参与者的手势输入表现，而非其选词表现。参与者完成某种键盘上的所有打字任务后，需填写NASA-TLX问卷，然后再使用下一种键盘。最后，参与者填写了一份最终调查问卷，并回答了几个关于整体体验的问题。每场实验持续1.5至2小时。我们的研究总共收集了：**3个键盘 × 4 个区块 × 5 个短语 × 24 名参与者 = 1440**

短语。

3.3.3 数据分析。我们使用夏皮罗-威尔克检验检查所有收集数据的正态性。对于正态分布的数据，我们进行了单因素重复测量方差分析，以确定老年人或年轻人群体中三种键盘的均值是否存在显著差异。对于易学性，我们进行了双因素重复测量

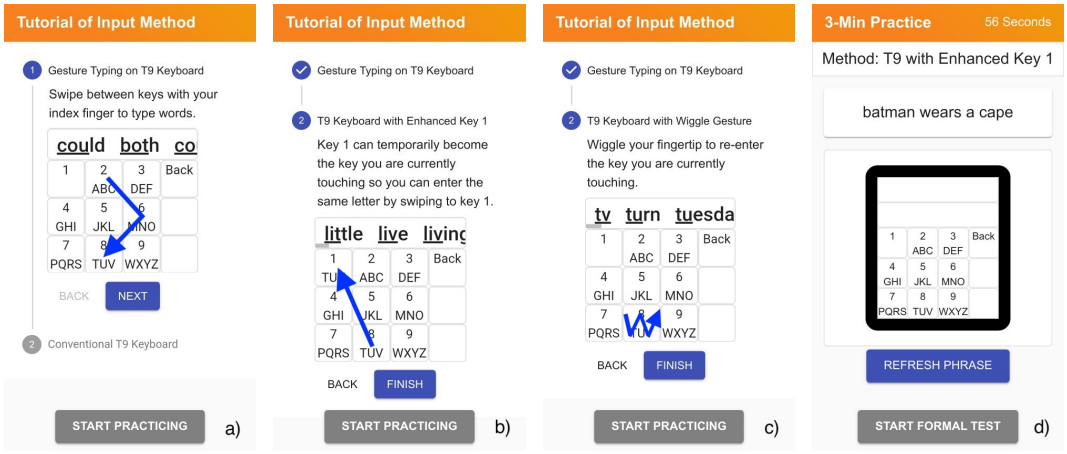


图6. 各输入方法的教程：a) 传统T9，b) 带有增强型按键1的T9，以及c) 带摆动手势的 T9。蓝线表示滑动轨迹，箭头表示方向。d) 练习环节的用户界面，其中包含一个倒计时器，在用户熟悉键盘之前，阻止其开始正式任务。

方差分析，因素为键盘类型（$k = 3$）和区块编号（$n = 4$）。与先前的打字研究 [26] 一致，我们还报告了效应量（偏η平方（η_p^2））以及经邦费罗尼校正的事后两两比较。对于需要采用非参数检验的非正态数据，当被试内分配了三个或更多条件时，我们使用弗里德曼检验，并使用 Conover的F检验进行两两比较。如第 3.3 节开头所述，我们没有对不同参与者群体（老年人和年轻人）进行统计检验。

4 结果

本节包括打字任务的定量结果，涵盖打字速度、易学性、每字符击键数、词错误率、错误类型和每词删除次数，以及基于任务后访谈的定性结果。

4.1 打字速度（每分钟单词数）

每分钟词数（WPM）是衡量文本输入表现时最常用的经验指标，代表打字速度 [6, 24]。该指标根据 MacKenzie 的公式计算 [36], , 其中 S 是任务期间转录的字符总数，T 表示转录短语所用的时间（分钟）。为将“每分钟字符数”转换为“每分钟单词数”（WPM），每个五字符字符串均视为一个单词 [36]。

$$WPM = \frac{|S| - 1}{T} \times \frac{1}{5}$$

图 7 显示了老年人和年轻人使用各款 T9 键盘时的平均打字速度。老年人使用带增强按键 1 的 T9 时速度最快，为 7.42 WPM（SD = 2.46）；其次是传统T9，为 6.85 WPM（SD = 2.37）；而带摆动手势的 T9 平均速度最慢，为 5.84 WPM（SD = 1.39）。方差分析显示，键盘对打字速度具有主效应（$F_{2,\ 22} = 3.79$，$p < .05$，$\eta_p^2 = 0.26$）。[2] 两两比较

[2] $\eta_p^2 = 0.01$ 表示小效应，$\eta_p^2 = 0.06$ 表示中等效应，且 $\eta_p^2 = 0.14$ 表示大效应 [57]。

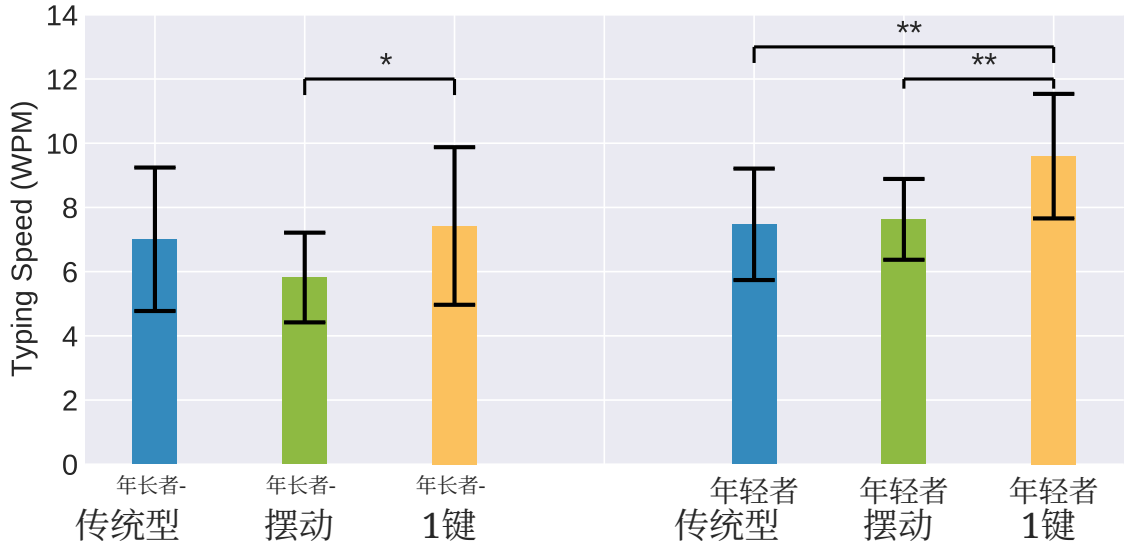


图 7. 平均值 每种T9键盘和用户组的打字速度。（误差线表示 ±1 SD；* $p < .05$，** $p < .01$，*** $p < .00$ 1)

结果显示，带增强按键 1 的 T9 与采用摆动手势的 T9 之间存在显著差异（$p < .05$）。年轻人也呈现相同趋势：带增强按键 1 的 T9 的打字速度最快，为 9.60 每分钟单词数（SD = 1.94）。键盘类型也导致了显著差异（$F_{2,\ 22} = 9.69$，$p < .001$，$\eta_p^2 = 0.47$），其中带增强按键 1 的 T9 的打字速度快于另外两种键盘（均 $p < .01$）。

4.2 易学性

易学性是用于说明键盘学习曲线的重要指标。我们采用与打字速度（每分钟单词数）相同的计算方法，但将测量结果按区块划分。图 8（上）展示了老年人在4个区块中使用各类T9键盘时的趋势。

对于老年人而言，键盘类型对每分钟单词数的影响显著（$F_{2,\ 22} = 4.24$，$p < .05$，$\eta_p^2 = 0.28$），区块编号对每分钟单词数的影响也显著（$F_{3,\ 33} = 5.65$，$p < .005$，$\eta_p^2 = 0.34$）。键盘与区块的交互效应不显著。带增强按键 1 的 T9 的输入速度在各个区块中逐渐提高，这表明经过一段时间的使用后，它可能是一种可行的改进方案。对于传统T9，输入速度在前三个区块中保持一致，随后在第四个区块中提高。这可能是因为参与者已经熟悉传统T9，因此在开始时并未经历陡峭的学习曲线。然而，对于带增强按键 1 的 T9 和传统T9而言，任意两个区块之间均不存在显著差异。对于带摆动手势的 T9，第一和第四个区块之间（$p < .05$）以及第二和第四个区块之间（$p < .05$）存在显著差异。这表明带摆动手势的 T9 产生了最大的学习曲线。

我们对年轻人也进行了相同的分析，如图 8 右侧的图表所示。键盘类型对 WPM 的影响显著（$F_{2,\ 22} = 8.28$，$p < .005$，$\eta_p^2 = 0.43$），区块编号对 WPM 的影响也显著（$F_{3,\ 33} = 12.4$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.53$）。我们还观察到显著的键盘类型 ×区块交互效应（$F_{6,\ 66} = 2.85$，$p < .05$，$\eta_p^2 = 0.21$）。对于带增强按键 1 的 T9 键盘，任意两个区块之间均无显著差异，因为在全部 4 个区块中，速度始终较为稳定，约为 10 WPM。这表明

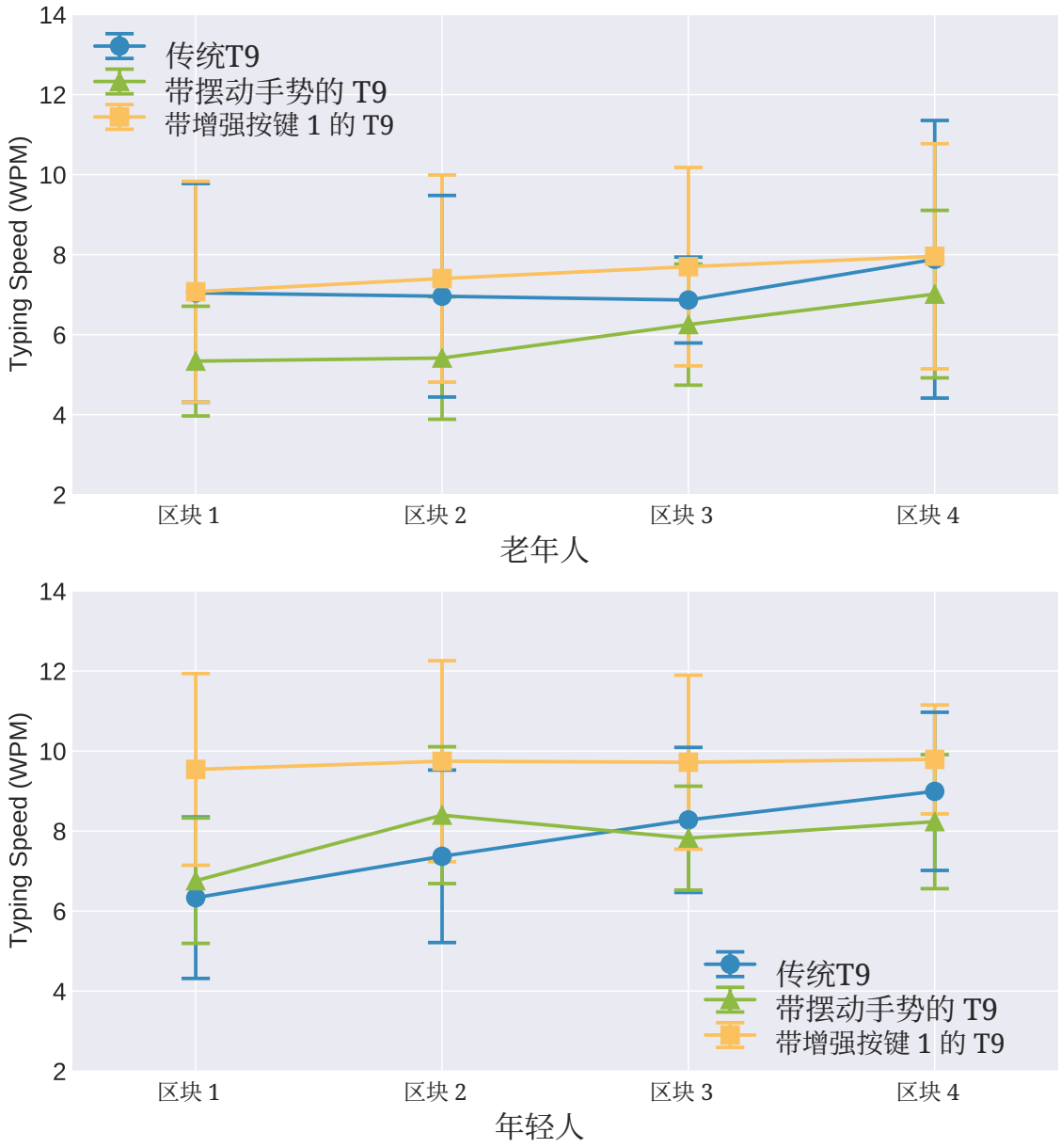


图 8. 老年人（上）和年轻人（下）使用 T9键盘和区块时的平均打字速度。

年轻人没有经历明显的学习曲线，并且很快掌握了增强型按键1的使用方法。对于传统T9，与第一区块相比，年轻人在第三区块（$p < .05$）和第四区块（$p < .05$）的速度显著更快，这一点从图 8 中蓝线的正斜率可以看出。对于带摆动手势的 T9，第二个区块（$p < .05$）和第四个区块（$p < .05$）的速度显著高于第一个区块。

4.3 每字符击键次数（KSPC）

KSPC 是生成每个字符所需击键次数的平均值 [35]，可表示**键盘的效率** [64]。计算公式如下：

$$KSPC = \frac{Gestures(S) + WordSelections(S) + Deletes(S)}{CharacterLength(S)}$$

其中，S是转录短语，$Gestures(S)$是转录S所执行的手势次数，$WordSelections(S)$是从候选列表中选择单词的次数，$Deletes(S)$是字符删除次数，$CharacterLength(S)$是S中的字符总数。例如，无错误地输入“APPLE”，使用带增强按键 1 的 T9 和带摆动手势的 T9 只需执行 1 次手势，而使用传统T9则需执行 2 次手势。如图 9 所示，对于老年人，带增强按键 1 的 T9 得出的 KSPC 最低。带增强型按键1的 T9、传统T9 和带摆动手势的 T9 的平均 KSPC 分别为 0.68（标准差 = 0.23）、0.88（标准差 = 0.20）和 1.10（标准差 = 0.42）。键盘类型对 KSPC 有显著主效应（$F_{2,\ 22} = 10.1$，$p < .001$，$\eta_p^2 = 0.48$），两两比较显示，带增强按键 1 的 T9 与带摆动手势的 T9 之间存在显著差异（$p < .01$）。对于年轻人，键盘类型对 KSPC 也有显著主效应（$F_{2,\ 22} = 16.6$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.60$）。带增强按键 1 的 T9 的 KSPC（0.71，标准差 = 0.20）显著低于另外两种键盘（两者均 $p < .001$。

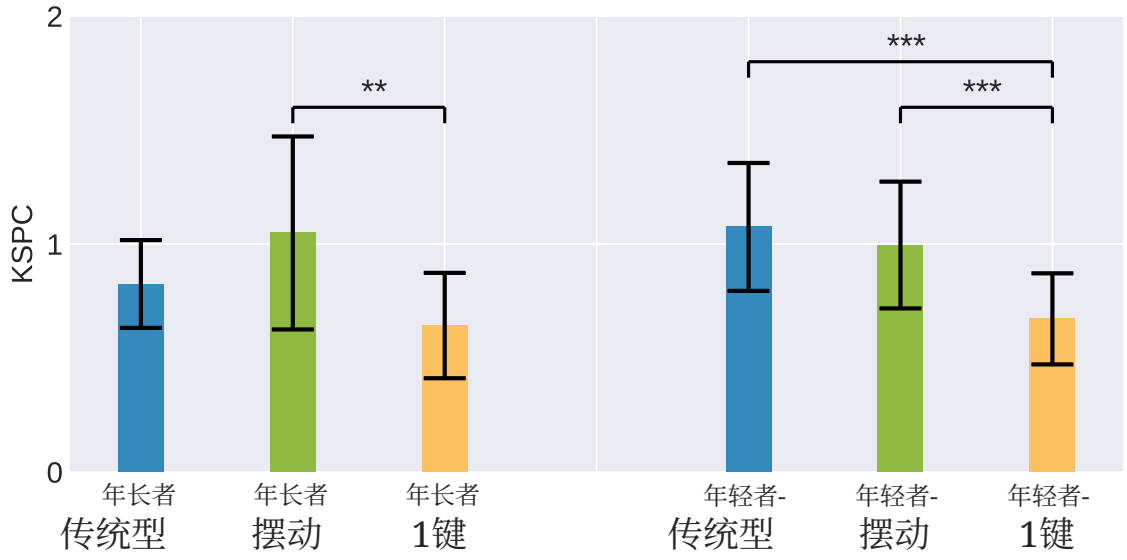


图9. 各T9键盘和用户组的KSPC。

4.4 词错误率（WER）

与每分钟单词数（WPM）的直接计算不同，错误率的计算更为复杂，因为难以区分输入过程中已纠正的错误与转录文本中仍然存在的错误 [6, 56]。与先前的研究（例如，[8, 49]）一致，我们使用基于转录短语 S 与目标短语 P之间最小词距离（MWD）的未校正错误率。具体而言，计算公式如下：

$$WER = \frac{MWD(S,P)}{WordLength(P)} \times 100\%$$

其中，$WordLength(P)$是P中包含的单词数。如图10所示，带增强按键 1 的 T9 对老年人和年轻人而言，平均错误率都是最低的。老年参与者在传统T9上的输入错误最多（9.82% $SD = 12.4\%$），其次是带摆动手势的 T9（8.18% $SD = 8.54\%$），而带增强按键 1 的 T9 错误率最低（6.45% $SD = 6.61\%$）。年轻人的结果也呈现出相同趋势。然而，弗里德曼检验未发现键盘类型对老年人或年轻人的词错误率（WER）有显著影响。

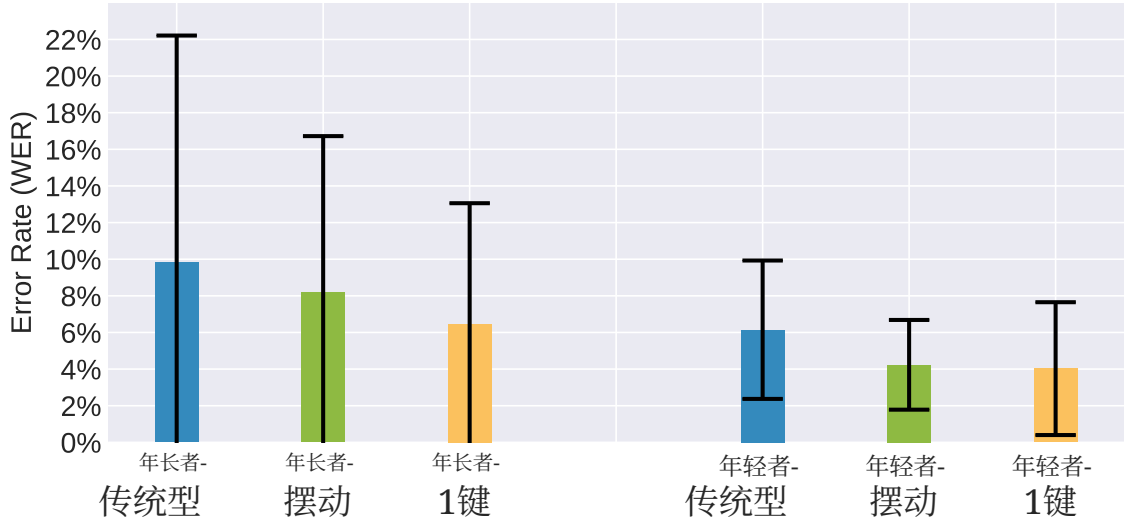


图10. 各 T9 键盘和用户组的词错误率。

4.5 错误类型

除了词错误率之外，我们还对老年人和年轻者所犯错误的类型进行了按键级分析（如图11所示）。

打字错误有三种常见类型：插入错误是指多按了一个按键，遗漏错误（也称为删除错误）是指漏按了一个按键，而替换错误是指按错了按键，而不是按下目标按键 [61]。由于 T9 只有 9 个按键，我们分析了与所输入按键编号相对应的按键序列。例如，“APPLE”的目标序列是 $[2, 7, 7, 5, 3]$。使用带增强型按键1的 T9 和带摆动手势的 T9 输入连续字母的特殊方式用“1”表示（例如，“APPLE”表示为 $[2, 7, 1, 5,3]$）。为考虑这种情况，我们将所有出现的“1”替换为前一个按键，以便与目标序列进行比较。由于 T9 是预测键盘，用户只需输入部分内容，便可从候选列表中选择目标词。因此，所有与目标序列顺序相同且属于其子集的已输入序列，均被视为无错误。

对于老年人，我们发现最常见的错误是插入错误（占所有错误的 52.2%），其次是替换错误（35.1%），然后是遗漏错误（12.7%）。弗里德曼检验发现插入错误存在显著差异（$\chi^2 = 7.167, p < .05$），但

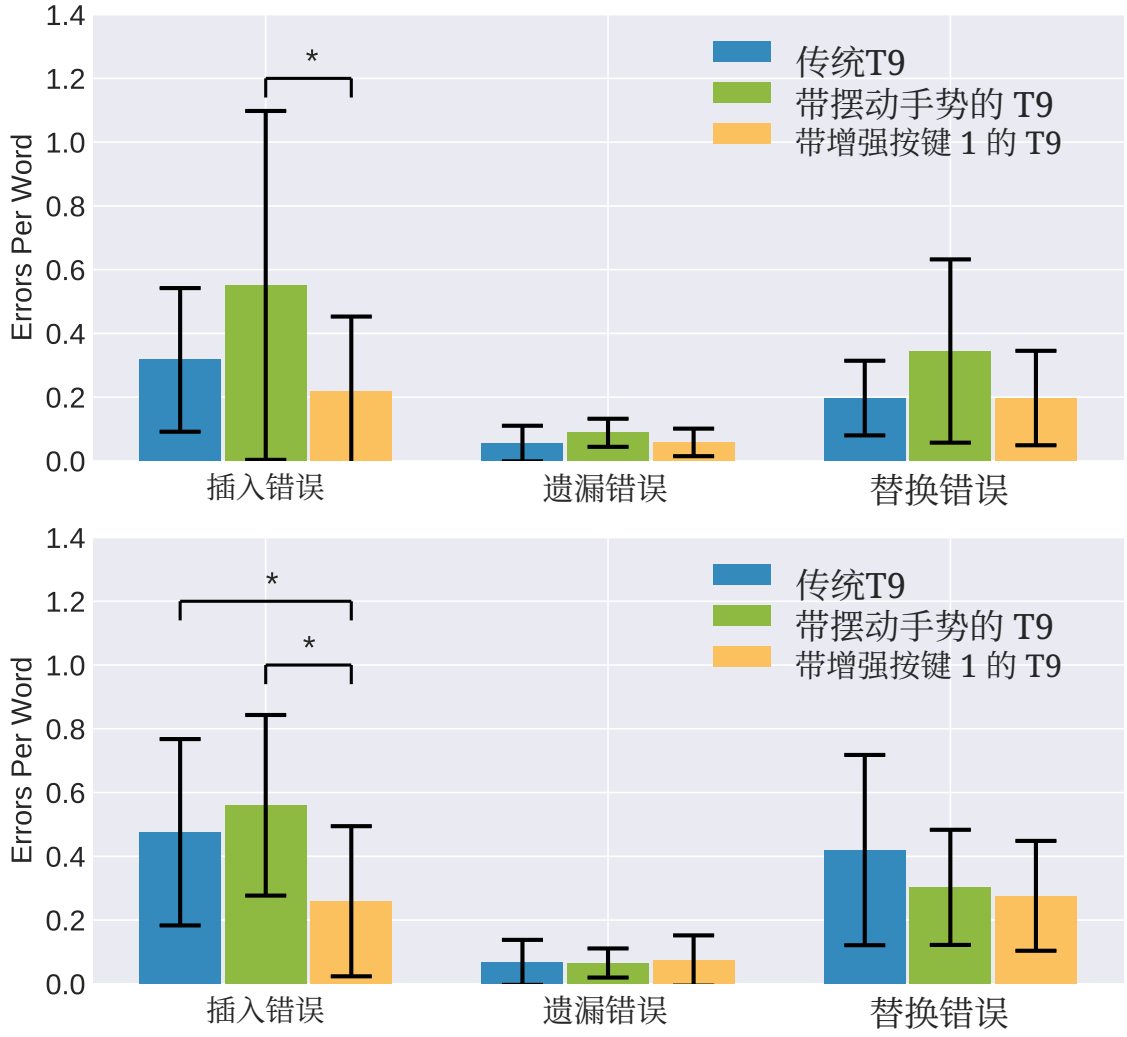


图 11. 老年人（上）和年轻人（下）每词产生的错误类型。

替换错误或遗漏错误则没有显著差异。使用带摆动手势的 T9 键盘时，老年人产生的插入错误显著多于使用带增强按键 1 的 T9 键盘时（$p < .05$）。年轻人的错误分布与此相似，最常见的也是插入错误（占所有错误的 50.9%），其次是替换错误（40.6%），然后是遗漏错误（8.5%）。同样，键盘类型之间唯一显著的差异在于插入错误（$\chi^2 = 8.043, p < .05$），增强型按键1的插入错误少于另外两种键盘类型（$p < .05$）。

4.6 每词删除次数

每词删除次数用于比较修正输入错误方面的绩效 [34, 46, 49]。如图 12 所示，对于老年人和年轻人，带增强按键 1 的 T9 的退格键使用情况最少

。老年人使用带增强按键 1 的 T9 时，平均每词删除 0.53 次（SD = 0.42）；使用传统T9 时，平均每词删除 0.57 次（SD = 0.30）；使用带摆动手势的 T9 时，平均每词删除 1.27 次（SD = 1.06）。键盘类型对平均每词删除次数有显著主效应（$F_{2,\ 22} = 7.65$，$p < .005$，$\eta_p^2 = 0.41$），带增强按键 1 的 T9 的删除次数显著少于带摆动手势的 T9（$p < .05$）。同样，键盘类型对年轻人的平均每词删除次数也有显著主效应（$F_{2,\ 22} = 7.33$，$p < .005$），带增强按键 1 的 T9 与带摆动手势的 T9 之间存在显著差异（$p < .05$）。

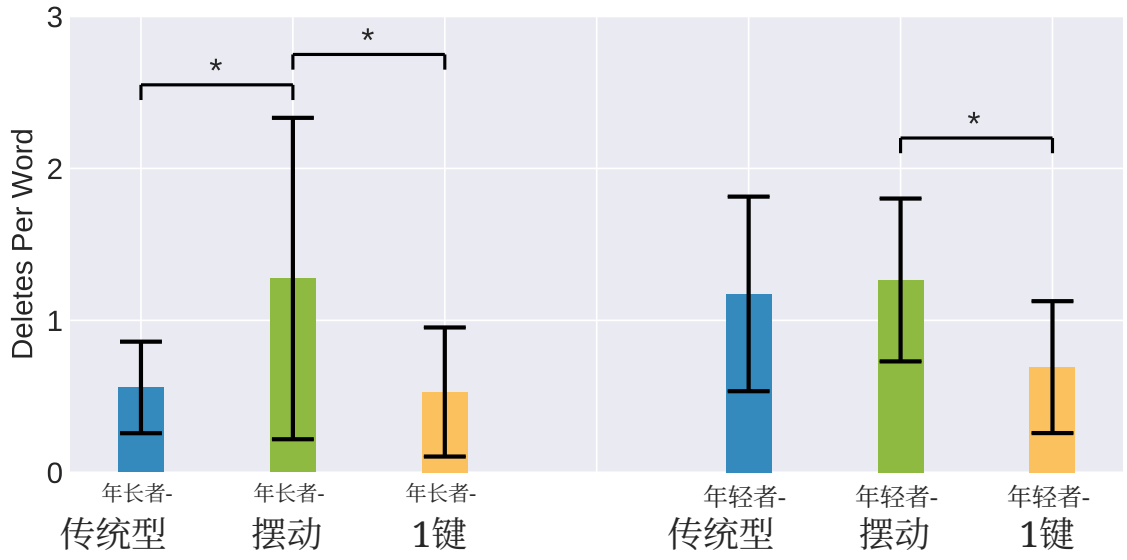


图 12. 各种 T9 键盘和用户群组的每词删除次数。

4.7 主观评分

完成某种键盘的所有转录任务后，参与者填写了 NASA-TLX量表 [22]。图 13 展示了老年人（上方）和年轻人（下方）的主观评分。对于老年人，与带摆动手势的 T9 相比，带增强按键 1 的 T9 被评为身体需求显著更低（$F_{2,22} = 13.2, p < .0005, \eta_p^2 = 0.55$）、努力显著更低（$F_{2,22} = 8.30, p < .005, \eta_p^2 = 0.43$），且挫败感水平显著更低（$F_{2,22} = 9.78, p < .001, \eta_p^2 = 0.47$）（均为 $p < .05$）。传统T9与带增强按键 1 的 T9 之间没有显著差异。年轻人的趋势相似：与带摆动手势的 T9 相比，带增强按键 1 的 T9 被评为心理需求更低（$F_{2,22} = 6.69, p < .01$, $\eta_p^2 = 0.38$）、身体需求更低（$F_{2,22} = 6.04, p < .01, \eta_p^2 = 0.35$）、时间需求更低（$F_{2,22} = 5.09, p < .05, \eta_p^2 = 0.32$）、努力更低（$F_{2,22} = 4.07, p < .05, \eta_p^2 = 0.27$），且挫败感水平更低（$F_{2,22} = 5.72, p < .05, \eta_p^2 = 0.34$）（均为 $p < .05$）。

除了填写 NASA-TLX 量表外，参与者还回答了三个李克特量表问题。图 14a 展示了他们使用各键盘时对“我觉得自己能够高效打字”这一说法的回答分布。老年人认为带增强按键 1 的 T9 效率最高（$Md = 5,\ IQR = 1$），其次是传统T9（$Md = 4,\ IQR = 1$），再其次是带摆动手势的 T9（$Md = 2,\ IQR = 1$）。键盘类型存在主效应（$F_{2,\ 22} = 27.3,\ p < .0001,\ \eta_p^2 = 0.71$），其中传统T9（$p < .01$）和带增强按键 1 的 T9（$p < .01$）的效率评分都显著高于

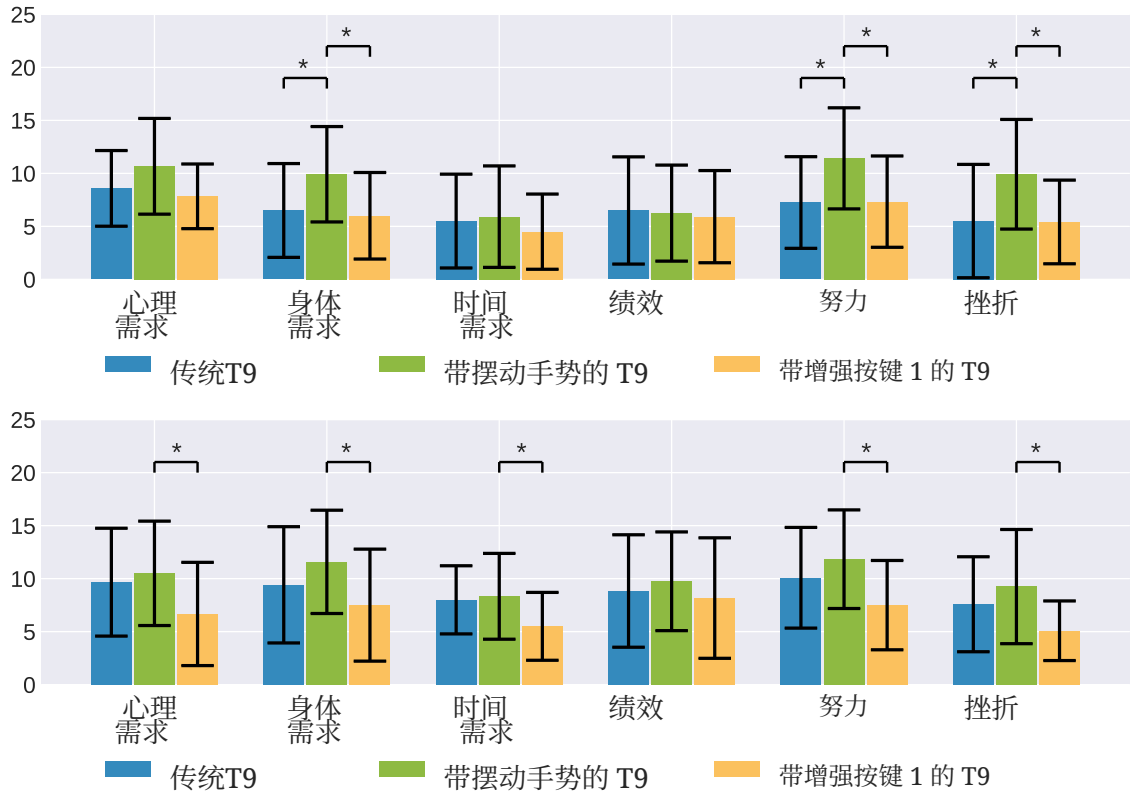


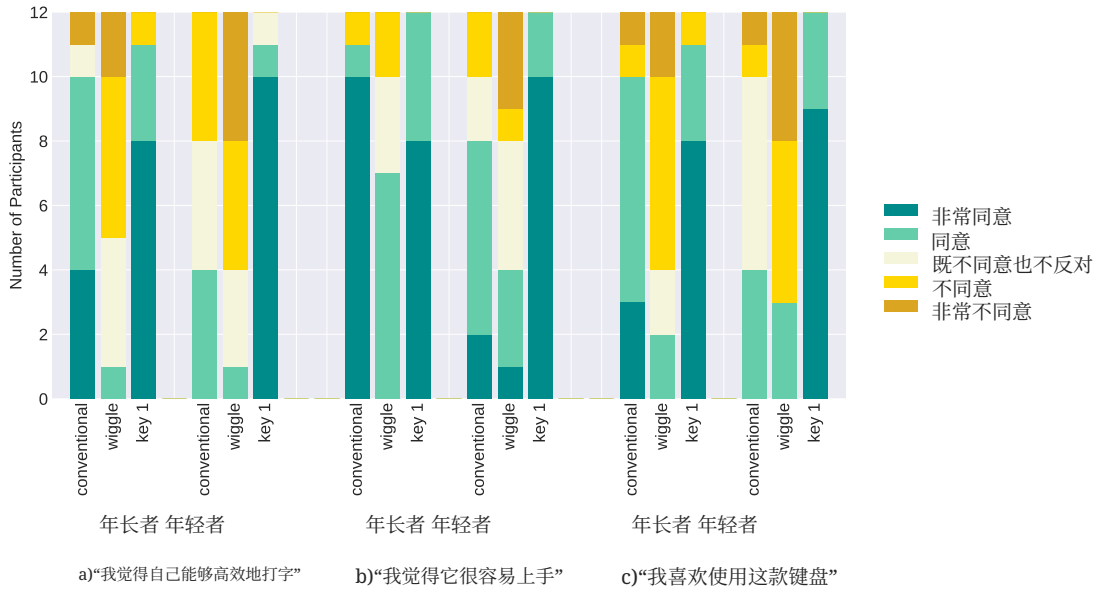
图 13. 平均 老年人（上）和年轻人（下）对三种 T9键盘的 NASA-TLX 评分 t
最正面的评分 和 20：最负面的评分）。

带摆动手势的 T9。年轻人的趋势相同（$F_{2,\ 22} = 36.5$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.77$），但他们认为带增强按键 1 的 T9 效率显著高于传统T9（$p < .01$）和带摆动手势的 T9（$p < .01$）。

图 14。b）展示了他们对短语"我觉得学习如何使用[传统T9/带增强按键1的T9/带摆动手势的T9]很容易"的回答分布。老年人对传统T9（$IQR = 0$）和带增强按键1的T9（$IQR = 1$）给出了相同的中位数评分5，并且两者的学习难度评分均显著低于带摆动手势的T9（$F_{2,\ 22} = 22.3$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.67$）。相比之下，年轻人对带增强按键1的T9给出了最高评分（$Md = 5$，$IQR = 0$），并认为其学习难度显著低于传统T9和带摆动手势的T9（$F_{2,\ 22} = 16.2$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.59$）。

最后，参与者对每种键盘的总体偏好进行了评分，如图 14. c) 所示。老年人最偏好带增强按键 1 的 T9（$Md = 5$，$IQR = 1$），其次是传统T9（$Md = 4$，$IQR = 0.25$），然后是带摆动手势的 T9（$Md = 2$，$IQR = 1$）。方差分析证实，键盘类型存在主效应（$F_{2,\ 22} = 22.5$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.67$）。具体而言，传统T9（$p < .01$）和带增强按键 1 的 T9（$p < .01$）都比带摆动手势的 T9 更受偏好，但两者之间没有显著差异。年轻人的趋势

也相同（$F_{2,\ 22} = 29.2$，$p < .0001$，$\eta_p^2 = 0.72$），但两两比较显示，带增强按键 1 的 T9 显著比另外两种键盘更受偏好（两者均为 $p < .01$）。



a)"我觉得自己能够高效地打字"　b)"我觉得它很容易上手"　c)"我喜欢使用这款键盘"

图 14. 参与者对自己能否高效打字、是否觉得容易学习以及是否喜欢使用各款键盘的李克特量表回答分布。

4.8 定性反馈

在任务后访谈中，我们询问参与者喜欢各款键盘的哪些方面、遇到了哪些挑战，以及他们给出偏好评分的原因。两位研究人员分别对回答进行转录和编码，随后再汇总。为区分不同组别的参与者，以下各节中，老年参与者记为"O1-12"，年轻成人参与者记为"Y1-12"。

4.8.1 传统T9。 对于传统T9，三位老年参与者表示，与另外两种变体相比，他们更喜欢这款键盘。相反，没有年轻人偏好这款键盘，其中三人表示这是他们最不喜欢的一款。这种差异可能是因为老年人过去使用过传统键盘，因此对它更熟悉；而新变体则需要花费更多时间和努力来学习。O5也提到了这一点，他说"我更习惯传统*T9*，所以用起来对我来说最容易。"

当被问及键盘的缺点时，一些老年人提到，他们抬起手指后，有时会忘记继续进行手势输入，转而开始使用点击输入（O3）。在输入连续按键时，Y1指出，抬起手指后很容易点击到相邻按键。在输入包含多个连续字母的单词时，例如"sprawling"（前 3 个字母都位于按键 7 上），Y3提到，在同一个按键上点击多次十分繁琐，而且"破坏了手势输入的流畅体验。"根据上述反馈，在传统T9上输入连续字母的体验仍有改进空间。

4.8.2 带摆动手势的 *T9*。九名老年参与者和九名年轻成人参与者将带摆动手势的 T9 评为研究中最不喜欢的键盘。两类用户群体对此排名的解释相似。参与者提到了三个主要痛点：（1）对于需要进行多少次"摆动"，**反馈不足**；（2）键盘尺寸**太小**，难以改变滑动方向；（3）摆动手势**容易出错**。关于第一个痛点，尽管参与者知道摆动手势需要进行三次方向变化，但他们仍然发现很难记住自己进行了多少次变化，以及键盘实际检测到了多少次变化。Y6建议，增加一种能够实时显示方向变化次数的额外信号或模式（例如数字指示器或进度条），可以让用户更好地控制操作，并获得更多视觉反馈。就尺寸过小而言，这一点对老年人尤其明显，许多参与者提到，由于区域太小，难以在同一个按键内完成这些方向变化。摆动时，他们经常会意外触碰相邻按键，误输入错误字符，因此需要花费更多时间按退格键，然后重新输入所需字符。关于第三个痛点，许多参与者提到，他们很容易对摆动手势进行过度补偿，错误地输入两个连续字母，而不是一个字母。关于易学性，许多参与者认为，与其他键盘相比，摆动手势需要更多练习；这一点从图 14. b）所示的易学性主观评分中也可以看出。

4.8.3 带增强按键 *1* 的 *T9*。九位老年人将带增强按键 1 的 T9 选为最喜欢的键盘，而十二位年轻人都更喜欢这款键盘。在被问及为何喜欢增强型按键1时，多位参与者提到这种键盘带来了"流畅且连贯的打字体验"，（也就是说，输入连续字母时，他们无需抬起手指来中断手势）。例如，Y1 表示："我最喜欢增强型按键1，因为它能让你继续做手势，不必抬起手指。"O12 也提到，滑动至 1 键带来了最流畅的打字体验，而且她认为习惯之后使用起来最快。Y7 提到的另一项优点是，1 键充当了视觉指示器，可以减轻当前按键被遮挡的问题。此外，大多数参与者表示，练习几次后就很容易学会使用这款键盘。对于没有将这款键盘排在首选的老年人（O4、O5 和 O7），他们表示并不觉得它难用，只是因为之前用过传统T9，所以用起来更顺手。其他老年人也认同这种输入方式很容易学会；这一点得到他们在每个区块中的打字速度不断提升（见图 8）以及易学性评分（$Md = 5,\ IQR = 1$）的印证。

5 讨论

5.1 打字表现

5.1.1 打字速度。对于老年参与者，我们发现，与传统T9和带摆动手势的T9相比，带增强型按键1的T9打字速度分别快了6.0%和27.5%，但只有带增强型按键1的T9与带摆动手势的T9之间的差异具有统计显著性。相比之下，带增强型按键1的T9对年轻人的速度优势更为明显：其速度显著快于传统T9（快28.5%），也显著快于带摆动手势的T9（快25.8%）。研究结束后，我们发现，实际打字速度低于以往文献报道的速度。例如，使用WatchWriter的参与者在1.3英寸圆形显示屏上平均手势输入速度达到每分钟24个单词（WPM） [21], ，而使用VelociTap的参与者在25 mm × 16 mm键盘[59]上的速度达到34.9 WPM。然而，其他研究报告的速度较低：使用ZoomBoard的参与者在 16 ×6mm键盘 [44], 上的速度达到9.3 WPM，而一项后续研究在28.4 × 11.4 mm键盘上比较ZoomBoard、Callout和ZShift时，

报告的速度分别为8.2 WPM、8.3 WPM和9.1 WPM。虽然我们的键盘略大（34.8×28.6 mm），但年轻成人参与者使用我们新设计的T9键盘时，打字速度与上述结果相当（9.6 WPM） [31]。值得注意的是，上述键盘均采用包含26个按键的QWERTY布局，而我们的研究采用九键布局。由于多字母布局存在歧义性，T9键盘的打字速度往往较慢。此前研究者提出的优化版T9键盘，其打字速度甚至低于传统QWERTY键盘[49]。此外，以往研究还加入了新功能（例如统计解码、错误校正、省略空格键和迭代缩放），旨在实现最佳打字表现 [21, 31, 32, 44, 49, 59]。相比之下，我们的目标并非通过重新排列布局或引入高级功能来设计打字速度最快的键盘，而是利用老年人对T9键盘的熟悉度，带来更流畅的打字体验。我们发现，新设计的键盘优于带摆动手势的T9，但与传统T9相比，并未显著提升打字速度。

5.1.2 输入效率与错误率。就输入效率（以 KSPC 衡量）而言，带增强型按键1的 T9 击键次数比带摆动手势的 T9 显著少 38.2%。其击键次数也比传统T9少 22.7%，但差异并不显著。令人意外的是，带摆动手势的 T9 的 KSPC 高于传统T9，尽管设计摆动手势的初衷是通过尽可能减少手势中断次数来降低 KSPC。为探究这一现象，我们检查了错误率。老年人使用带增强型按键1的 T9 时，平均词错误率比传统T9低 34.3%，比带摆动手势的 T9 低 20.9%，但差异均不显著。这一趋势与另一项研究相似：该研究提出的 Optimal-T9 的词错误率低于传统T9和 QWERTY键盘，但结果并不显著 [49]。带增强型按键1的 T9 的词错误率（6.45%，标准差 = 6.61%）略低于另一项研究报告的词错误率；该研究中，老年人使用 QWERTY键盘进行手势输入（6.79%，标准差 = 8.53%） [34]。带摆动手势的 T9 和传统T9的词错误率均高于先前研究。在本研究中，老年人使用带摆动手势的 T9 时准确度略高于使用传统T9，因此观察到的额外击键次数可能是由于他们使用删除键来纠正打字错误。事实上，老年人使用带摆动手势的 T9 时，每词删除次数显著高于使用传统T9和带增强型按键1的 T9。频繁使用删除键表明，老年人在使用带摆动手势的 T9 输入字母时遇到了相当大的困难。总体而言，带摆动手势的 T9 在输入速度、KSPC 和每词删除次数方面的表现显著较差，且被评为需要显著更多的身体需求、努力并带来更多挫折。定性反馈揭示了原因：参与者认为，在狭小空间内连续改变多个方向很困难，而且容易不小心滑到相邻按键上。未来改进应考虑将较小的按键放大到舒适的尺寸，例如 ZoomBoard [44]，并移除相邻按键，以便用户能在更大的区域内进行摆动手势。

5.1.3 错误类型。在分析三种错误类型时，我们发现，老年人所犯的所有错误中，超过一半（52.2%）是插入错误，其次是替换错误（35.1%）和遗漏错误（12.7%）。插入错误最为常见，这是因为**意外触碰**频频发生：与参与者的手指相比，键盘尺寸非常小。事实上，一项比较平板电脑与手机的先前研究表明，老年人在较小设备上犯的插入错误显著更多 [42]。令人惊讶的是，这些错误类型的出现顺序与2012年一项研究的结果恰好相反。该研究让老年人在触屏 QWERTY 键盘上打字，发现最常见的错误类型是遗漏错误，其次是替换错误和插入错误 [42]。由于遗漏错误通常被认为是与运动能力无关的认知错误 [7, 29]，一种可能的解释是，先前研究的参与者年龄更大（$M = 79$，$SD = 7.3$），而我们实验中的参与者年龄较小（$M = 65$，$SD = 3.7$）。然而，

两项研究都未考虑参与者之间的认知差异，因此无法证实这一点。造成差异的另一种可能原因是键盘类型。由于 T9 是预测键盘，参与者从候选列表中选择一个词后，系统会自动添加空格。相比之下，先前的研究要求老年人手动按下“空格键”，并发现他们经常忘记在词语之间输入空格，这占所有错误的 25%–30% [42]。与使用实体电脑键盘打字的其他用户群体（例如运动障碍者和无运动障碍者）相比 [27], ，我们的结果呈现出相同趋势：插入错误最常见，遗漏错误最少见。鉴于这些结果存在差异，有必要进一步研究老年人在不同类型的键盘上打字时所犯的错误。

5.2 改进老年人 T9 手势输入的设计考量

5.2.1 尽可能增大键盘尺寸。 我们的研究还揭示了老年人在 T9 键盘上进行手势输入时遇到的一些挑战。我们发现，尽管使用了按键较大的 T9 键盘，并遵循按键至少为 7 毫米的指南， [15], “胖手指”问题仍然存在。许多老年参与者都试图放大键盘，因为它只占据了智能手机屏幕的一部分。得知页面缩放已禁用，以模拟智能手表的尺寸后，他们表示，相对于自己的指尖而言，按键仍然太小。因此，未来的设计者应通过移除打字任务中非必要的界面元素，尽可能扩大智能手表上的键盘空间，并使用缩放或局部放大技术，让按键更清晰可见 [31]。缓解这一问题的另一种可能方法是使用触控笔输入字母，其笔尖更小，但这需要额外设备，对于智能手表而言可能不太方便。未来有必要专门针对老年人制定小屏幕设备文本输入指南，并优化界面设计。

5.2.2 平衡保持传统布局与优化打字速度之间的权衡。根据带增强按键 1 的 T9 的学习曲线，年长者和年轻人的打字速度在每个区块中都逐步提高（图 8）。虽然受参与者招募的实际限制，我们无法开展纵向打字研究，但这些曲线表明，带增强按键 1 的 T9 在一段时间的使用后可能是一种可行的改进方案，这也支持了保持传统布局这一设计原则。然而，我们研究中观察到的打字速度低于近期采用 26键QWERTY键盘 [21, 59] 或每个按键上的字母经过重新排列的类T9键盘 [49]的其他布局研究结果。为了确认传统布局的优势，未来可以比较新型 T9（每个按键上的字母保持不变）与标准QWERTY键盘。此外，未来的键盘设计者需要在新布局的学习成本与传统布局较慢的速度之间取得平衡。

5.2.3 提供高级预测技术。我们还发现，老年人使用较长的手势输入单词颇具挑战。短语集 [37] 中的一些单词尤其难以输入，例如“sprawling”，其前三个字母都位于按键 7 上。其他单词，如“anniversary”和“subdivisions”，分别包含 11 个和 12 个字母，这使老年人难以通过一次连续手势正确选中所有按键。我们还收到了一些反馈，指出包含不常见或不熟悉单词（如“racketball”和“chlorine”）的目标短语更难输入。参与者在打字时需要回看目标短语，并在目标短语和键盘之间切换注意力，以确保拼写正确。这表明，老年人的打字表现不仅受到键盘设计的影响，还受到他们对单词的熟悉度及单词长度的影响。因此，老年人可能会受益于**能够减少击键次数的更高级技术**，例如 彩神

作为基于部分词语输入预测词语的预测算法（例如文本建议 [40]），或基于常见词语在前一个词之后出现的模式进行预测的预测算法（例如 Smart Compose [20] 和下一个词预测 [58]）。

5.2.4 将交互区域扩展到触摸屏之外。本研究聚焦于改进面向老年人的小型触摸屏设备上的 T9键盘。然而，小型界面上的“粗手指问题”适用于各种键盘类型以及目标选择任务。智能手表的尺寸限制要求采用新的设计和输入技术 [19]。在设计供老年人使用的智能手表时，我们可以考虑以其他方式扩展交互界面，使其超出触摸屏的范围。例如，一项引导式研究针对 31 项智能手表任务提出了手势分类体系，其中包括设备上方空中滑动、边框点击和悬停手势 [5]。其他研究人员展示了使用触敏腕带进行选择与滚动的可行性，因为腕带的表面积比手表屏幕更大 [47]。随后，研究人员利用腕带进行文本输入，使用线性键盘和多次点击键盘时，分别达到了 2.91 WPM 和 3.45 WPM [19]。随着增强现实（AR）技术日益普及，研究人员已开始探索虚拟键盘的应用 [38]。未来，虚拟键盘或许能够用于文本输入，从而不再将用户限制在智能手表的小型触摸屏上。

6 局限性与未来工作

尽管本研究开发了一种新型 T9键盘，通过增强 1键的功能，在部分文本输入指标和主观评分方面表现出优于传统T9和带摆动手势的 T9的效果，但仍有一些超出本研究范围、值得进一步探究的问题。首先，我们提出的设计侧重于解决在歧义键盘上输入连续按键的问题。在小屏幕设备上使用歧义键盘时，还存在其他潜在瓶颈。具体而言，从词语预测算法生成的列表中选择候选词可能耗时较长，并且容易受到“大手指”问题的影响。许多老年参与者提到，在输入正确的手势序列后，他们在候选列表中点错了词，这也是挫折的另一个来源。因此，未来的工作可以探索优化预测文本算法，以及采用不同的候选列表界面设计，以尽量减少选择时的错误。此外，本研究仅关注字母文本输入，因此只提供了 9 个按键。其他布局，例如带有空置 0键的 3×4 键盘，可以输入标点符号和完整的数字范围（0 - 9）。未来的工作可以探索如何利用空置的 0键，促进带有标点符号和数字的文本输入。

本研究采用了最基础的一元语言模型，未使用自动补全和自动纠错等功能。实际上，小屏幕设备（如智能手表）处理能力的提升，使得这些设备能够运用更先进的自动纠错和预测算法。然而，这些技术对老年人的潜在影响尚未得到充分探索。既往研究表明，老年人往往不喜欢文本预测算法，但该研究完成于十多年前 [30]。过去十年间文本预测技术的发展，或许提高了老年人对这类算法的接受度，未来研究可进一步验证这一假设。

一些老年参与者因“胖手指”问题，平时会使用触控笔在智能手机上输入文本。不过，为确保不同用户群体和键盘之间的比较有效，本研究要求他们仅使用指尖进行输入。未来研究可以针对T9键盘开展规模更大、更全面的实证调查，涵盖指尖和触控笔等不同输入策略，并探讨不同输入设备如何影响老年人的打字表现。

最后，本研究的参与者人数较少，这可能导致新型T9键盘与传统T9键盘之间的差异未达到显著水平。虽然我们并未发现每项指标都存在显著差异，但这并不意味着两者之间不存在差异。即使增加参与者人数，单项研究也可能不足以判断某种趋势是否成立 [25]。未来研究应对不同背景的老年人开展更多研究，以验证我们的发现，并考察各种因素可能如何影响研究结果。

7 结论

总体而言，我们的主要发现为改善老年人在 T9键盘上的手势输入体验带来了积极希望。我们提出的设计利用1键，使用户在输入连续字母时能够进行连续手势，而无需重新排列键盘布局，从而带来更好的打字体验和易学性。我们还提供了实证证据，将所提出的设计与传统T9以及带摆动手势的 T9 进行了比较。通过对 12 位老年人开展用户研究，我们发现，带增强型按键1的 T9 比带摆动手势的 T9 的打字速度快 27.5%，且与传统T9相当（快 6.0%，但差异在统计上不显著）。我们发现，最常见的打字错误是插入错误（52.2%）、替换错误（35.1%）和遗漏错误（12.7%）。让年轻人完成相同的打字任务后，我们确认，支持带增强型按键1的 T9 的趋势在不同年龄组中要么保持一致，要么更加明显。最后，我们还为未来的设计者提出了建议，并指出了进一步研究的方向，以改善老年人的手势输入和 T9键盘布局。

参考文献

[1] Jiban Adhikary. 2018. SmartVRKey——一种基于智能手机、应用于虚拟现实并具备 T9 文本预测功能的文本输入方式。密歇根理工大学CS5760——人机交互与可用性（2018），12。[2] Jessalyn Alvina、Joseph Malloch 和 Wendy E. Mackay. 2016. 表现性键盘：丰富移动设备上的手势输入体验。载于第*29*届用户界面软件与技术年度研讨会论文集（日本东京）（*UIST '16*）。计算机协会，美国纽约州纽约市，583–593。https://doi.org/10.1145/2984511.2984560[3] Monica Anderson 和 Andrew Perrin. 2017. 老年美国人的科技采用率上升。https://www.pewresearch.org/internet/2017/05/17/tech- adoption-climbs-among-older-adults/[4] 苹果。2021. Apple Watch Series 3——技术规格。https://support.apple.com/kb/sp766?locale=en_US[5] Shaikh Shawon Arefin Shimon、Courtney Lutton、Zichun Xu、Sarah Morrison-Smith、Christina Boucher 和 Jaime Ruiz. 2016. 探索智能手表的非触屏手势。载于*2016*年*CHI*计算机系统中人为因素会议论文集（美国纽约州纽约市）（*CHI '16*）。计算机协会，3822–3833。https://doi.org/10.1145/2858036.2858385[6] Ahmed Sabbir Arif 和 Wolfgang Stuerzlinger. 2009. 文本输入表现指标分析。载于*2009*年*IEEE*多伦多科技与人类国际会议（*TIC-STH*）论文集（加拿大安大略省多伦多）。IEEE，100–105。https://doi.org/10.1109/TIC-STH.2009.5444533[7] Jenna Beaver、Kaci B. Wilson 和 Maureen Schmitter-Edgecombe. 2019. 轻度认知障碍和痴呆症患者日常任务完成中的遗漏错误及其认知相关因素分析。神经心理康复29, 5（2019年6月），804–820。https://doi.org/10.1080/09602011.2017.1337039[8] Xiaojun Bi 和 Shumin Zhai. 2016. *IJQwerty*：改变一个按键会带来什么不同？仅调整一个按键位置的*QWERTY*手势输入键盘优化。计算机协会，美国纽约州纽约市，49–58。https://doi.org/10.1145/2858036.2858421[9] Syed Masum Billah、Yu-Jung Ko、Vikas Ashok、Xiaojun Bi 和 IV Ramakrishnan. 2019. 面向智能手机非视觉文本输入的无障碍手势输入。计算机协会，美国纽约州纽约市，1–12。https://doi.org/10.1145/3290605.3300606[10] Sara J Czaja. 2019. 老年人技术的可用性：现状与发展方向。可用性研究期刊14, 2（2019），4。[11] Armando D'Arienzo. 2022. *KeyOboard*：一款 *WearOS T9*键盘——*Google Play* 应用。https://play.google.com/store/apps/details?id=com. armandodarienzo.wear.utility.KeyOboard&hl=en_US&gl=US[12] E. W. Dolch. 1936. 基础视觉词汇。《小学教育期刊》36, 6（1936），456–460。http://www.jstor.org/stable/995914[13] Mark Dunlop 和 Michelle Masters. 2008. 研究结合距离与按键建模的五键预测文本输入。《个人与普适计算》12（2008年11月），589–598。https://doi.org/10.1007/s00779-007-0179-7[14] Mark D. Dunlop、Naveen Durga、Sunil Motaparti、Prima Dona 和 Varun Medapuram. 2012. QWERTH：一种优化的半歧义键盘设计。载于第*14*届移动设备与服务人机交互国际会议伴随论文集（美国加利福尼亚州旧金山）（*MobileHCI '12*）。计算机协会，美国纽约州纽约市，23–28。https://doi.org/10.1145/2371664.2371671

使用小型触摸屏设备上的 T9键盘提升年长者的手势输入体验CHI '23，2023年4月23日至28日，德国汉堡

[15] Mark D. Dunlop、Andreas Komninos 和 Naveen Durga. 2014. 迈向智能手表上的高质量文本输入。载于《CHI '14人机交互系统中的人为因素扩展摘要》（CHI EA '14）。计算机协会，美国纽约州纽约市，2365–2370。https://doi.org/10.1145/ 2559206.2581319[16] Mireia Fernández-Ardèvol 和 Andrea Rosales. 2017. 我的兴趣，我的活动：从智能手表使用的代际比较中学习。载于《老年人信息技术的人为因素：应用、服务与环境》，Jia Zhou 和 Gavriel Salvendy（编）。Springer国际出版，Cham，114–129。https://doi.org/10.1007/978-3-319-58536-9_10[17] Paul M. Fitts. 1954. 人体运动系统控制运动幅度时的信息容量。《实验心理学杂志》47, 6（1954），381–391。https://doi.org/10.1037/h0055392 地点：美国。出版方：美国心理学会。[18] Kristin S. Fuglerud、Richard Chan 和 Hilde T. Rli. 2018. 借助 EziSmart 键盘和应用，研究视力障碍老年人使用主流智能手机的情况。《通过设计、多样性与教育改变我们的世界》（2018），802–810。https://doi.org/10.3233/978- 1-61499-923-2-802 出版方：IOS出版社。[19] Markus Funk、Alireza Sahami、Niels Henze 和 Albrecht Schmidt. 2014. 使用触敏腕带在智能手表上输入文本。载于《CHI '14人机交互系统中的人为因素扩展摘要》（美国纽约州纽约市）（CHI EA '14）。计算机协会，2305–2310。https://doi.org/10.1145/2559206.2581143[20] 谷歌。2022. 使用 Smart Compose—— 电脑端 ——Gmail 帮助。https://support.google.com/mail/answer/9116836?hl=en&co=GENIE.Platform%3DDesktop[21] Mitchell Gordon、Tom Ouyang 和 Shumin Zhai. 2016. WatchWriter：通过统计解码在智能手表微型键盘上进行点击和手势输入。载于《2016年CHI计算机系统中人为因素会议论文集》（美国加利福尼亚州圣何塞）。ACM，3817–3821。https://doi.org/10.1145/2858036.2858242[22] Sandra G. Hart 和 Lowell E. Staveland. 1988. NASA-TLX（任务负荷指数）的开发：实证与理论研究结果。载于《人类心理工作负荷》，Peter A. Hancock 和 Najmedin Meshkati（编）。《心理学进展》，第52卷。北荷兰出版公司，139–183。https: //doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9[23] Dan Hawthorn. 2006. 为老年用户设计有效的界面。（2006年1月）。[24] Yamada Hisao. 1980. 打字机与打字方法的历史研究：从规划日文并行输入的角度出发。2, 4（1980），175–202。https://cir.nii.ac.jp/crid/1050001337894287488 出版方：日本信息处理学会（IPSJ）。[25] Kasper Hornbæk、Søren S. Sander、Javier Andrés Bargas-Avila 和 Jakob Grue Simonsen. 2014. 一次重复够吗？人机交互领域重复研究的范围与内容。载于《SIGCHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（美国纽约州纽约市）（CHI '14）。计算机协会，3523–3532。https://doi.org/10.1145/2556288.2557004[26] Yoram M. Kalman、Gitit Kavé 和 Daniil Umanski. 2015. 数字世界中的写作：年轻人与老年人打字时的自我纠正。《国际环境研究与公共卫生杂志》12, 10（2015年10月），12723–12734。https://doi.org/10.3390/ijerph121012723 编号：10 出版方：多学科数字出版研究所。[27] Shaun K. Kane、Jacob O. Wobbrock、Mark Harniss 和 Kurt L. Johnson. 2008. TrueKeys：为运动障碍者识别并纠正打字错误。载于第13届智能用户界面国际会议论文集（IUI '08）。计算机协会，美国纽约州纽约市，349–352。https://doi.org/10.1145/1378773.1378827[28] Andreas Komninos 和 Mark Dunlop. 2014. 智能手表上的文本输入。《IEEE普适计算》13, 4（2014年10月），50–58。https://doi.org/10. 1109/MPRV.2014.77[29] Per Ola Kristensson. 2009. 智能文本输入方法面临的五项挑战。《人工智能杂志》30, 4（2009年9月），85–85。https://doi.org/10.1609/aimag. v30i4.2269 编号：4。[30] Sri Kurniawan. 2008. 老年人与手机：一项多方法研究。《国际人机研究杂志》66, 12（2008年12月），889–901。https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.03.002[31] Luis A. Leiva、Alireza Sahami、Alejandro Catala、Niels Henze 和 Albrecht Schmidt. 2015. 微型 QWERTY 软键盘上的文本输入。载于第33届ACM计算机系统中人为因素年度会议论文集（美国纽约州纽约市）（CHI '15）。计算机协会，669–678。https://doi.org/10.1145/2702123.2702388[32] Luis A Leiva、Alireza Sahami、Alejandro Catalá、Niels Henze 和 Albrecht Schmidt. 2015. 微型 QWERTY 软键盘上的错误自动纠正机制。载于《CHI '15人机交互系统中的人为因素扩展摘要》（CHI EA '15）。4。[33] Vulcan Labs Company Limited. 2022. WatchKey：手表键盘。https://apps.apple.com/us/app/watchkey-keyboard-for-watch/id1499307793[34] Yu-Hao Lin、Suwen Zhu、Yu-Jung Ko、Wenzhe Cui 和 Xiaojun Bi. 2018. 为什么手势输入对老年人很有前景？比较老年人与年轻人的手势输入和点击输入行为。载于第20届国际ACM计算机与无障碍会议论文集（爱尔兰戈尔韦）（ASSETS '18）。计算机协会，美国纽约州纽约市，271–281。https://doi.org/10.1145/3234695.3236350[35] I. Scott MacKenzie. 2002. KSPC（每字符击键数）作为文本输入技术的一项特征。载于第4届移动人机交互国际研讨会论文集。移动人机交互国际研讨会论文集 2002，195–210。https://doi.org/10.1007/3-540-45756-9_16[36] I. Scott MacKenzie. 2015. 关于计算文本输入速度的说明。https://www.yorku.ca/mack/RN-TextEntrySpeed.html[37] I. Scott MacKenzie 和 R. William Soukoreff. 2003. 用于评估文本输入技术的短语集。载于《CHI '03人机交互系统中的人为因素扩展摘要》（美国佛罗里达州劳德代尔堡）（CHI EA '03）。计算机协会，美国纽约州纽约市，754–755。https://doi.org/10.1145/765891.765971

[38] Anindya Maiti、Murtuza Jadliwala 和 Chase Weber。2017年。使用随机化增强现实键盘防止窥屏。载于《2017年IEEE普适计算与通信国际会议研讨会》（PerCom研讨会）。630–635。https://doi.org/10.1109/ PERCOMW.2017.7917636[39] Todd Matthew Manini、Tonatiuh Mendoza、Manoj Battula、Anis Davoudi、Matin Kheirkhahan、Mary Ellen Young、Eric Weber、Roger Benton Fillingim 和 Parisa Rashidi。2019年。老年人对用于评估疼痛及相关患者报告结局的智能手表技术的看法：试点研究。《JMIR mHealth and uHealth》7, 3（2019年3月），e10044。https://doi.org/10.2196/10044 公司：JMIR mHealth and uHealth 分销商：JMIR mHealth and uHealth 机构：JMIR mHealth and uHealth 标签：JMIR mHealth and uHealth 出版商：JMIR Publications Inc.，加拿大多伦多。[40] 微软。2022年。为包容性课堂启用文本建议。
https://support.microsoft.com/en-us/topic/enable-text-suggestions-for-inclusive-classrooms-8ca3ea32-66b1-4d9d-abf1-1d0ead34f2a2[41] 联合国。 [不详]。老年人——联合国难民署/紧急手册。
https://emergency.unhcr.org/entry/43935/older-persons[42] Hugo Nicolau 和 Joaquim Jorge。2012年。老年人在触摸屏上的文本输入表现。载于《第14届国际ACM计算机与无障碍会议论文集》（ASSETS '12）。计算机协会，美国纽约州纽约市，127–134。
https://doi.org/10. 1145/2384916.2384939[43] Jakob Nielsen。1994年。用户界面设计的10条可用性启发式原则。
https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/[44] Stephen Oney、Chris Harrison、Amy Ogan 和 Jason Wiese。2013年。ZoomBoard：通过迭代缩放为超小型设备打造的微型QWERTY软键盘。载于《SIGCHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（美国纽约州纽约市）（CHI '13）。计算机协会，2799–2802。https://doi.org/10.1145/2470654.2481387[45] 世界卫生组织。2021年。老龄化与健康。https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health[46] Kseniia Palin、Anna Maria Feit、Sunjun Kim、Per Ola Kristensson 和 Antti Oulasvirta。2019年。人们如何在移动设备上打字？一项针对37,000名志愿者的研究观察结果。载于《第21届移动设备与服务人机交互国际会议论文集》（中国台湾台北）（MobileHCI '19）。计算机协会，美国纽约州纽约市，论文编号9，共12页。
https://doi.org/10.1145/ 3338286.3340120[47] Simon T. Perrault、Eric Lecolinet、James Eagan 和 Yves Guiard。2013年。Watchit：适用于腕表和手环的简单手势与免视交互。载于《SIGCHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（法国巴黎）。ACM，1451–1460。
https://doi.org/10.1145/ 2470654.2466192[48] Porsager。2022年。Type Nine——T9键盘。
https://apps.apple.com/ca/app/type-nine-t9-keyboard/id926008509[49] Ryan Qin、Suwen Zhu、Yu-Hao Lin、Yu-Jung Ko 和 Xiaojun Bi。2018年。Optimal-T9：适用于小型触摸屏设备的优化类T9键盘。载于《2018年ACM交互表面与空间国际会议论文集》（日本东京）（ISS '18）。计算机协会，美国纽约州纽约市，137–146。https://doi.org/10.1145/3279778.3279786[50] Andrew Romero。2022年。如何在Galaxy Watch上切换到全尺寸QWERTY键盘。https://9to5google.com/2022/07/12/qwerty-keyboard-on- galaxy-watch/[51] Sayan Sarcar。2019年。基于能力的优化：为患有阅读障碍的老年人设计和评估触摸屏键盘。载于《第31届澳大利亚人机交互会议论文集》（OZCHI'19）。计算机协会，美国纽约州纽约市，472–475。https://doi.org/10.1145/3369457.3369519[52] Sayan Sarcar、Jussi P. P. Jokinen、Antti Oulasvirta、Zhenxin Wang、Chaklam Silpasuwanchai 和 Xiangshi Ren。2018年。触摸屏交互的基于能力的优化。《IEEE普适计算》17, 01（2018年1月），15–26。https://doi.org/10.1109/MPRV.2018.011591058 出版商：IEEE计算机学会。[53] Alexander Seifert。2020年。老年人使用智能手表：两项大型调查的结果。载于《老年人信息技术的人为因素：技术、设计与用户体验》，Qin Gao 和 Jia Zhou（编）。Springer国际出版，Cham，372–385。https://doi.org/10.1007/978- 3-030-50252-2 28_[54] Katie A. Siek、Yvonne Rogers 和 Kay H. Connelly。2005年。粗手指困扰：老年人与年轻用户如何通过身体动作操作个人数字助理。载于《人机交互——INTERACT 2005》。Springer Berlin Heidelberg，267–280。https://doi.org/10.1007/11555261_24[55] Brian A. Smith、Xiaojun Bi 和 Shumin Zhai。2015年。优化用于手势输入的触摸屏键盘。计算机协会，美国纽约州纽约市，3365–3374。
https://doi.org/10.1145/2702123.2702357[56] R. William Soukoreff 和 I. Scott MacKenzie。2003年。文本输入研究的度量：对MSD和KSPC的评估，以及一种新的统一错误度量。载于《SIGCHI计算机系统中的人为因素会议论文集》（美国纽约州纽约市）（CHI '03）。计算机协会，113–120。https://doi.org/10.1145/642611.642632[57] SPSS。2022年。统计学中的效应量——终极指南。
https://www.spss-tutorials.com/effect-size/[58] Joel Stremmel 和 Arjun Singh。2021年。为下一个词预测预训练联邦文本模型。载于《信息与通信进展》，Kohei Arai（编）。Springer国际出版，Cham，477–488。https://doi.org/10.1007/978-3-030-73103-8_34[59] Keith Vertanen、Haythem Memmi、Justin Emge、Shyam Reyal 和 Per Ola Kristensson。2015年。VelociTap：通过触摸屏键盘输入的基于句子的解码，探索快速移动文本输入。载于《第33届ACM计算机系统中人为因素年度会议论文集》（美国纽约州纽约市）（CHI '15）。计算机协会，659–668。https://doi.org/10.1145/2702123.2702135[60] Claudia Voelcker-Rehage。2008年。老年人的运动技能学习——关于年龄相关差异的研究综述。《欧洲老龄化与体育活动评论》5, 1（2008年4月），5–16。https://doi.org/10.1007/s11556-008-0030-9 编号：1 出版商：BioMed Central。

[61] Jacob Wobbrock 和 Brad Myers。2006年。分析不受约束文本输入评估中字符级错误的输入流。*ACM*计算机与人类交互汇刊 13（2006年12月），458–489。https://doi.org/10.1145/1188816.1188819[62] Jacob O. Wobbrock、Shaun K. Kane、Krzysztof Z. Gajos、Susumu Harada 和 Jon Froehlich。2011年。基于能力的设计：概念、原则与实例。*ACM*无障碍计算汇刊 3，3（2011年4月），9:1–9:27。https://doi.org/10.1145/1952383.1952384[63] Pui Chung Wong、Kening Zhu 和 Hongbo Fu。2018年。*FingerT9*：利用拇指到手指交互，在智能手表上实现同侧手文本输入。计算机协会，美国纽约州纽约市，1–10。https://doi.org/10.1145/3173574.3173752[64] Shumin Zhai 和 Per Ola Kristensson。2012年。单词手势键盘：重新构想键盘交互。*Commun. ACM* 55，9（2012年9月），91–101。https://doi.org/10.1145/2330667.2330689